



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

Stavební průzkum mostní konstrukce

DIAGNOSTICS OF THE BRIDGE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Kněbort

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DALIBOR KOCÁB, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	David Kněbort
Název	Stavební průzkum mostní konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	5. 6. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmidt, P.: Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, Brno, VUT, 2005.

Schmidt, P. a kol.: Základy zkušebnictví. Brno, CERM, 2001.

Kučera, V.: Zjišťování pevnosti malty ve stávající zděné konstrukci pomocí upravené ruční vrtačky. TaZÚS Praha, 12/1992.

Odborné tuzemské i zahraniční příspěvky pojednávající o zadané problematice.

Bažant, Z., Klusáček, L.: Statika při rekonstrukci objektů. Brno, CERM, 2010.

Odborné tuzemské i zahraniční články pojednávající o zadané problematice.

Všechny toho času platné normy (včetně změn a doplňků), zejména s přihlédnutím k ČSN ISO 13822, ČSN EN 206+A1, ČSN 73 1373, ČSN 73 1370, ČSN 73 2011, ČSN EN 13791, ČSN EN 12504-1, ČSN EN 1993-1-1 a k řadě ČSN EN 1991.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Teoretická část: zpracování přehledu diagnostických metod a jejich stručný popis s důrazem na metody vhodné pro stavební průzkum daného typu konstrukce.

Praktická část: vizuální prohlídka vybraného mostu, jeho základní popis a charakteristika.

Zjištění a dokumentace případných vad a poruch konstrukce, zjištění základních materiálových charakteristik materiálů, které byly pro výstavbu konstrukce použity. Celkové posouzení stavu objektu. Obecný návrh opatření k odstranění zjištěných závad a poruch.

Práci s jádrovou vrtačkou, kotoučovou pilou a zkušebními lisy provede pověřená osoba.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá stavebním průzkumem jednopolevého železničního mostu přes silnici I/55H v ekm 137,608 (TÚ 2401). Teoretická část práce je řešerší platných norem a odborné literatury, se zaměřením na mostní prohlídku a vhodné diagnostické metody pro daný typ konstrukce. Praktická část se zaměřuje na mostní prohlídku, diagnostiku konstrukce a vyhodnocení jejích výsledků. Na základě výsledků ze stavebního průzkumu jsou navrženy vhodná opatření k nápravě vad a poruch konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, železniční most, stavební průzkum, mostní prohlídka, tvrdoměrná zkouška, jádrový vývrt, pevnost v tlaku, modul pružnosti.

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the diagnostics of single-span railway bridge over road I/55H at ekm 137,608 (TÚ 2401). The theoretical part of the bachelor's thesis consists of research applicable standards and technical literature, information on bridge inspection and diagnostics methods suitable for the type of structure. The practical part is focused on the bridge inspection, diagnostics of the construction and evaluation of its results. Based on the results, applicable measures are designed to correct defects and failures of structure.

KEYWORDS

Reinforced concrete, railway bridge, bridge inspection, diagnostics, rebound test, core, compressive strength, modulus of elasticity.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

David Kněbort *Stavební průzkum mostní konstrukce*. Brno, 2020. 65 s., 12 s. příl.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Stavební průzkum mostní konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 5. 6. 2020

David Kněbort
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Stavební průzkum mostní konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 5. 6. 2020

David Kněbort
autor práce

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Daliboru Kocábovi, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce. Velice si vážím pomoci, zejména s testováním zkušebních těles, které pro mou práci zpracoval. Dále bych chtěl poděkovat firmě Mostní vývoj, s.r.o. a panu Ing. Janu Kryštofovi za možnost zúčastnit se diagnostického průzkumu mostní konstrukce a poskytnutí veškerých informací potřebných pro vypracování této práce. V neposlední řadě bych poděkoval své rodině a přátelům za podporu při celé délce mého studia.

OBSAH

ÚVOD	10
CÍLE PRÁCE	10
A. TEORETICKÁ ČÁST	12
1. Mosty a jejich názvosloví	12
1.1 Skladba mostu	12
1.2 Rozdělení mostů	13
1.2.1 Dle druhu převáděné komunikace	13
1.2.2 Dle překračované překážky a výškové polohy mostovky	14
1.2.3 Dle měnitelnosti základní polohy hlavní nosné konstrukce	14
1.2.4 Dle použitého materiálu	14
1.2.5 Dle statické funkce hlavní nosné konstrukce	16
1.2.6 Další členění z hlediska fyzických skutečností	16
2. Evidence mostů a mostní prohlídka	17
2.1 Evidence mostů	17
2.1.1 Evidenční čísla mostů	17
2.1.2 Mostní listy	18
2.2 Mostní prohlídka	18
2.2.1 Hodnocení stavu mostu	18
2.2.2 Rozdělení prohlídek	19
3. Diagnostický průzkum	21
3.1 Vady, poruchy a jejich příčiny	23
3.1.1 Vady a poruchy	23
3.1.2 Vznik vad a poruch	24
3.2 Metody diagnostického průzkumu	25
3.2.1 Nedestruktivní metody	26
3.2.2 Semidestruktivní metody	28
3.2.3 Destruktivní metody	29
3.2.4 Kombinované metody	30
B. PRAKTICKÁ ČÁST	32
4. Mostní prohlídka	32
4.1 Základní údaje a obecný popis objektu	32
4.2 Konstrukční uspořádání mostu	33
4.2.1 Založení	33
4.2.2 Spodní stavba	33
4.2.3 Nosná konstrukce	34
4.2.4 Ložiska	34

4.2.5	Římsy	35
4.2.6	Mostní vybavení	35
4.2.7	Cizí zařízení	35
4.3	Stav a závady částí mostu	36
4.3.1	Založení	36
4.3.2	Spodní stavba	36
4.3.3	Nosná konstrukce	37
4.3.4	Ložiska	37
4.3.5	Římsy	37
4.3.6	Mostní vybavení	37
5.	Provedené práce a vyhodnocení zkoušek	38
5.1	Jádrové vývrty	38
5.2	Tvrdoměrné zkoušky	43
5.3	Chemické zkoušky	44
5.3.1	Stanovení hloubky karbonatace betonu	44
5.3.2	Odběr vzorků pro test chloridů	44
5.4	Kontrola kabelových kanálků	45
5.5	Vyhodnocení objemové hmotnosti	45
5.6	Vyhodnocení pevnosti v tlaku	47
5.7	Vyhodnocení pevnosti v tlaku pomocí tvrdoměru	50
5.8	Vyhodnocení charakteristické pevnosti	51
5.9	Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti	53
5.10	Vyhodnocení statického modulu pružnosti	54
5.11	Zhodnocení mostní konstrukce	56
5.11.1	Celkový stav objektu	57
5.11.2	Ideový návrh sanace	57
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	63
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	65
	SEZNAM PŘÍLOH	65

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá mosty, jejich průzkumem a prohlídkami. Proto je vhodné uvést, co to mostní konstrukce je, její důležitost s ohledem na infrastrukturu a také zabezpečení jejího použitelného stavu.

Mosty patří mezi nejnáročnější stavební objekty. Jsou namáhány velkými dynamickými zatíženími, často se zakládají v obtížných podmínkách a po celou dobu životnosti jsou vystaveny povětrnostním vlivům. Všechny tyto faktory ovlivňují použitelnost mostní konstrukce a její životnost.

Prvními předchůdci mostů, jak je známe dnes, byly spadlé kmeny stromů přes vodní tok nebo jinou překážku. Postupně docházelo ke zdokonalování konstrukčního provedení, byly stavěny lávky pro pěší a později i drobnější mosty. Hlavním materiálem zůstávalo dlouhou dobu dřevo, ale docházelo k jeho opracování do podoby trámů. Hojně se používal i kámen, z počátku pro spodní stavbu mostu, později i jako součást nosné konstrukce. První mosty z prostého betonu se objevovaly začátkem 19. století. V roce 1875 byl postaven první železobetonový most Josephem Monierem [1]. Dnes jsou mostní konstrukce neoddělitelnou součástí dopravní infrastruktury.

Pro mostní konstrukce jsou důležité časté a pravidelné kontroly. Jen tak je možné zaznamenat vady konstrukce a předcházet tak vážnějším poruchám, které by mohly zapříčinit nepoužitelnost konstrukce. Z tohoto důvodu se v posledních desetiletích dostávají do popředí diagnostické průzkumy. Na základě správně použitých diagnostických metod jsme schopni predikovat problémy ve fungování konstrukce a odhalit možné poruchy před jejich vznikem nebo v jejich zárodku. Velký důraz musí být kladen na správný návrh průzkumu a provedení firmou s odpovídajícím vybavením a schopnostmi. Jen kvalitní a správně provedený průzkum vede k vhodnému návrhu sanací a prodloužení životnosti samotné konstrukce.

CÍLE PRÁCE

Cílem teoretické části práce je seznámení se s problematikou stavebního průzkumu mostních konstrukcí. K pochopení problematiky je třeba provést rešerše platných norem, literatury a podkladů se zaměřením na mostní názvosloví, evidenci mostů a mostní prohlídky. Dále práce pokračuje členěním diagnostického průzkumu a rozdělením vad a poruch, které mohou na konstrukci nastat. V poslední řadě se pojednává o rozdělení diagnostických metod a popis základních metod vhodných k průzkumu dané konstrukce.

Cílem praktické část je prohlídka vybraného mostního objektu, zpracování záznamu vad a poruch konstrukce a diagnostický průzkum. Následující část práce má za cíl popsat provedené průzkumné činnosti in situ, jako jsou tvrdoměrné zkoušky, stanovení hloubky karbonatace povrchové vrstvy betonu a odběry jádrových vývrtů pro vyhodnocení materiálových charakteristik. Poslední část se bude zaměřovat na zhodnocení celkového stavu mostní konstrukce pro její následnou použitelnost a bezpečnost. Pokud budou na konstrukci zjištěny vady či poruchy, bude vypracován ideový návrh sanace.

A. TEORETICKÁ ČÁST

Bakalářská práce se zabývá diagnostikou mostní konstrukce. Diagnostika nejen mostních konstrukcí je nedílnou součástí životního cyklu staveb. Díky ní lze zjistit, v jakém stavu se daný objekt nachází a zda může objekt sloužit svému účelu nadále, nebo je nutné ho rekonstruovat či ukončit jeho provoz. Pro dosažení cíle bakalářské práce, tedy diagnostiku dané mostní konstrukce je nutná nejprve teoretická znalost z oblasti mostních staveb, diagnostiky a diagnostických metod.

1. Mosty a jejich názvosloví

Mosty a mostní konstrukce patří k nejnáročnějším stavebním konstrukcím. Tyto konstrukce jsou často stavěny v těžko přístupných terénech, odolávají nepříznivým klimatickým a přírodním vlivům, např. vodě (mostní konstrukce nad řekou apod.).

Norma ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění [2] definuje mostní objekt jako nedílnou součást dopravní cesty (pozemní komunikace, dráhy nebo vodní cesty) v místě, v němž je třeba překonat přírodní nebo umělou překážku přemostěním, popř. zvolit odborné řešení z vodohospodářských, ekonomických, ekologických nebo estetických důvodů, může také sloužit ke stavebně montážním účelům. Obecně se mezi mostní objekty zahrnují mosty, propustky a lávky [2].

Mostem ve smyslu normy je brán objekt, jehož funkční část s kolmou světlostí minimálně jednoho z mostních otvorů je větší než 2 m. O něco menší jsou takzvané propustky. Jejich funkční část s kolmou světlostí mostních otvorů je v rozmezí 0,4 – 2 m. Poslední popisovaný útvar, tedy lávka je mostní objekt, který slouží chodcům či cyklistům k překonání prohlubně, vody nebo jiné překážky [2].

1.1 Skladba mostu

Most se skládá z několika základních celků. Ty lze rozdělit na dvě funkční části. První je čistá stavba mostu zahrnující spodní stavbu, tedy opěry a pilíře. Dále samotnou konstrukci a svršek stavby. Do druhé části lze zařadit vybavení mostu, tedy svodidla, zábradlí, odvodnění, osvětlení apod. Také do této sekce lze zařadit různá cizí zařízení, jako jsou energetické a spojovací kabely. V neposlední řadě jsou to zvláštní zařízení, například zařízení pro ochranu státu [2].

Nosná konstrukce mostu obsahuje hlavní nosné prvky konstrukce, dále mostovku, ztužení, ložiska a mostní závěsy. Prostor, který slouží pro umístění nosné konstrukce v místě, kde se kříží komunikace s přemostňovanou překážkou, se nazývá **konstrukční prostor** [2].

Posledním pojmem často užívaným v souvislosti se skladbou mostu je **stavební výška**. Tou se rozumí rozdíl mezi niveletou mostu a nejnižším bodem konstrukce mostu [2].

1.2 Rozdělení mostů

Mostní konstrukce se dělí dle několika hledisek. Převážně záleží na funkci mostu, použitých materiálech a zvoleném statickém působení, případně dalších faktorech, například velikost překračované překážky, druh převáděné dopravy nebo náklady na výstavbu. Zároveň se může jednat i o estetiku mostu, nebo dostupné technologie pro výstavbu a montáž v daném místě [2].

1.2.1 Dle druhu převáděné komunikace

První členění mostních konstrukcí je **dle druhu převáděné komunikace**. Toto členění zaznamenává hlavní funkci mostu, tedy důvod výstavby mostní konstrukce pro překonání překážky z hlediska používaného dopravního prostředku. Rozdělují se tyto základní typy mostů:

- a) drážní most,
- b) most pozemní komunikace,
- c) vodohospodářský most,
- d) sdružený most,
- e) migrační most [2].

Drážní mosty zahrnují přemostění překážky pro dopravní prostředky využívající kolejí, např. vlaky, tramvaje, metra, případně důlní dráhy. **Mosty pro pozemní komunikace** slouží pro překonání překážek pro silniční dopravu. Do této kategorie patří mosty dálniční, silniční, místní a účelové komunikace. Méně obvyklé jsou **vodohospodářské mosty**, které slouží k převádění vodních cest. Další kategorií jsou **sdružené mosty**. Tyto mosty obsahují více možných dopravních cest, například kombinace silniční a drážní dopravy. Posledním typem jsou **migrační mosty**. Tyto mosty se vystavují převážně pro ekologické účely, tedy pro převod a zajištění přežití živočichů při migraci přes pozemní a jiné komunikace [2].

1.2.2 Dle překračované překážky a výškové polohy mostovky

Přemostěna může být jak přírodní, tak uměle vytvořená překážka. Rozlišují se 4 základní typy:

- a) most přes pozemní komunikace nebo dráhu,
- b) most přes řeku, jezero nebo jiný vodní tok,
- c) most přes zastavěné území,
- d) ostatní [2].

Dále lze rozlišit mosty z hlediska výškové polohy mostovky:

- a) most s horní mostovkou,
- b) most s mezilehlou mostovkou,
- c) most se zapuštěnou mostovkou,
- d) most s dolní mostovkou [2].

1.2.3 Dle měnitelnosti základní polohy hlavní nosné konstrukce

Mosty jsou **pohyblivé a nepohyblivé**. Nepohyblivé mosty jsou pevně ukotvené a nelze s nimi jakkoli manipulovat. Pohyblivé mosty obsahují zařízení, která umožňují dočasně změnit polohu hlavní nosné konstrukce. Toho se využívá hlavně při nutnosti zvýšení výšky pod mostem například pro průplav lodí po řece [2].

Mosty s pohyblivými nosnými konstrukcemi se dělí na:

- a) sklápěcí,
- b) zdvižné,
- c) otočné,
- d) posuvné [2].

Existují také takzvané **plovoucí mosty**. Jedná se o mostní konstrukce, jejichž některé podpěry jsou neustále neseny plavidly, nebo umístěny na plováky [2].

1.2.4 Dle použitého materiálu

Materiál použitý na výstavbu mostní konstrukce dává mostu konkrétní podobu. Materiál určený na výstavbu se volí nejen z hlediska funkčnosti, ale často i z hlediska estetického. Most by měl vždy zapadat do krajinného rázu a nenarušovat ráz krajiny [2].

Základní druhy mostů jsou:

- a) zděný most,
- b) betonový most,
- c) kovový most,
- d) dřevěný most,
- e) kombinovaný most,
- f) spřažený ocelobetonový most,
- g) spřažený betonový most,
- h) integrovaný most [2].

Zděné mosty mají konstrukci sestavenou z kamene, cihel, případně betonových tvárnic. Tyto konstrukce se začaly využívat ke stavbě mostů v době rozvoje dopravy. Dodnes se zachovalo mnoho funkčních viaduktů a jiných zděných mostních konstrukcí. Tyto stavby patří k jednomu z nejstálejších konstrukcí [3].

Další kategorií jsou **betonové mostní konstrukce**. Hlavní nosná konstrukce těchto mostů je tvořena prostým betonem, nebo železobetonem. V případě potřeby se využívá předpjatého betonu, který má specifické vlastnosti, které jsou v některých situacích velmi užitečné. Není výjimkou ani kombinace zmíněných druhů betonů [2].

Neméně opomíjené jsou **kovové mostní konstrukce**. Tyto mosty se rozlišují dle konkrétního použitého materiálu. Využívané materiály lze rozdělit do tří kategorií. Mosty z oceli, litinové mosty a mosty z lehkých slitin (např. hliníkové mostní konstrukce) [2].

Dřevěné mosty patří k nejstarším známým mostním konstrukcím. První mosty vznikaly spadnutím stromu přes překážku (např. vodní tok). Až posléze byly mosty stavěny účelně. Dřevěné mosty mají nosnou konstrukci složenou ze dřeva, nebo z materiálů na bázi dřeva. Převážně se tyto konstrukce využívají ke stavbě lávek, nebo mostů pro chodce [3].

Jedním z nejnovějších typů mostních konstrukcí jsou **integrované mosty**. Hlavní nosná konstrukce těchto mostů působí společně se spodní stavbou. Zároveň je ovlivněna zemním tělesem přechodové oblasti. Nejpoužívanějším materiálem pro tyto konstrukce je beton a jeho varianty [2].

Zbývající zmíněné druhy mostních konstrukcí jsou kombinací různých materiálů, které spolu pracují a využívají svých vlastností navzájem. Příkladem jsou spřažené mostní konstrukce. **Spřažený ocelobetonový most** tvoří betonová nosná část konstrukce, která je například spřažena pomocí spřahujících ocelových trnů s ocelovou nosnou konstrukcí. Na stejném principu funguje **spřažený betonový most** [2].

1.2.5 Dle statické funkce hlavní nosné konstrukce

Výběr mostu dle statické funkce hlavní nosné konstrukce závisí nejen na jeho funkci, ale také vhodnosti v konkrétním terénu. Není výjimkou ani kombinace různých druhů mostních konstrukcí, tím vznikají složitější mostní soustavy. Proto je následně zmíněné dělení pokládáno pouze za základní rozdělení. U moderních mostních konstrukcí nemusí být na první pohled jasné, jaké je skutečné působení [3].

Základní dělení mostů dle statické funkce hlavní nosné konstrukce:

- a) deskový most,
- b) trémový most,
- c) rámový most,
- d) obloukový most,
- e) klenbový most,
- f) věšadlový most,
- g) vzpínadlový most,
- h) vzpěradlový most,
- i) visutý most,
- j) integrovaný most [3].

1.2.6 Další členění z hlediska fyzických skutečností

Dále lze mosty dělit **dle počtu mostních otvorů nebo polí**. Převážně se mosty dělí jedno-otvorové (jednopolní) a víceotvorové (vícepolní). Také lze mosty rozčlenit **z hlediska počtu mostovek** umístěných nad sebou. Opět zde platí analogie číselného členění. Mosty se rozřazují na jednoúrovňové, dále jednopatrové (což znamená, že obsahují 2 mostovky nad sebou) a vícepatrové. Mostní konstrukce lze také rozlišit na **mosty s přesypávkou a mosty bez přesypávky** [2].

Existují i další rozdělení mostních konstrukcí například **dle doby trvání, volné výšky na mostě nebo např. dle uspořádání příčného řezu**. Každá mostní konstrukce je specifická a mnoho těchto staveb je obdivováno nejen odborníky z oblasti stavitelství, ale i širokou veřejností [2].

2. Evidence mostů a mostní prohlídka

Mostní konstrukce podléhají plošné evidenci dle ČSN 73 6220 [4]. Evidence objektů je zejména důležitá z hlediska údržby mostů. Evidence těchto staveb neobsahuje jen základní fyzické údaje o daném objektu, ale také historii jeho vývoje. Záznamy z mostních prohlídek zabezpečují bezpečné užívání mostních konstrukcí, a mohou přispět k delší životaschopnosti stavby.

2.1 Evidence mostů

Technická péče o pozemní komunikace je zabezpečena i díky evidenci mostů. Tato evidence obsahuje databáze objektů se seznamy objektů (tzv. registr objektů), dále mostní listy (známé také jako evidenční listy) objektů, záznamy z prohlídek objektů, mapy objektů a archiv objektů. Evidence mostů jsou převážně v elektronické podobě a jsou veřejně k dispozici na stránkách ŘSD (výjimkou jsou železniční mosty, které jsou evidovány v databázích SŽDC bez veřejného přístupu) [4].

Správce objektů (nejčastěji ŘSD) je odpovědný za aktualizace a archivace veškerých dokumentací k daným objektům [4].

2.1.1 Evidenční čísla mostů

Veškeré mostní konstrukce podléhají evidenci a jsou jim přiřazena evidenční čísla, pod kterými vystupují ve veškerých dokumentacích spjatých s daným objektem. Zároveň je toto číslo upevněno na značce u konkrétního objektu. Způsob generování evidenčních čísel je upraven normou ČSN 73 6220 [4]. Toto číslo zpravidla zahrnuje číslo komunikace, na které se objekt vyskytuje (silnice, dálnice), dále index a pořadové číslo daného objektu na daném úseku komunikace [4].

Nová evidenční čísla objektů jsou přidělována garantem registru objektů. Ten na základě žádosti od správce objektu číslo vytvoří, a to může být posléze na základě písemného vyjádření o přidělení zapsáno do evidence [4].

Dočasné evidenční číslo se objektu přiřazuje v případě, kdy je objekt ve výstavbě. Využívá se pro dočasnou evidenci stavby. Toto číslo zpravidla zahrnuje číslo pozemní komunikace, nebo označení stavby a čísla stavebního objektu [4].

2.1.2 Mostní listy

Tento dokument obsahuje základní informace o daném objektu jako např. název mostu, předmět přemostění, převáděná komunikace, rok postavení, maximální zatížení apod. Nedílnou součástí jsou také parametry objektu jako je délka přemostění, délka nosné konstrukce, volná šířka, plocha mostu apod. [4].

Tyto listy jsou průběžně aktualizovány s cílem co nejvíce sladit dokumentaci se skutečným stavem stavby [4].

2.2 Mostní prohlídka

Mostní prohlídku je povinen zabezpečit vlastník nebo správce daného objektu. Typ prohlídky a její náplň se řídí normou ČSN 73 6221 [5]. Následný záznam pořízený z prohlídky mostu se nazývá protokol. Tento dokument obsahuje mimo jiné fotodokumentaci zjištěných závad, a to z několika pohledů. Při mostní prohlídce je vždy kladen důraz na závady, které byly zmíněny již v předchozích protokolech o mostní prohlídce [5].

2.2.1 Hodnocení stavu mostu

Hodnocení aktuálního stavu mostní konstrukce na základě mostní prohlídky se dělí do sedmi kvalifikačních stupňů, viz Tab. 1. Hodnocení se provádí na základě závad a jejich vlivu na zatížitelnost mostu. Jedná se pouze o vizuální hodnocení. Stejně tak norma popisuje i hodnocení trhlin. Konkrétně jejich šířky, kdy jsou v normě uvedené maximální přípustné meze pro provoz objektu bez nutnosti oprav [5].

Tab. 1: Klasifikační stupně stavu mostů [5]

Klasifikační stupeň stavu	Stav konstrukce	Součinitel stavu konstrukce α
I.	Bezvadný	1,0
II.	Velmi dobrý	1,0
III.	Dobrý	1,0
IV.	Uspokojivý	0,8
V.	Špatný	0,6
VI.	Velmi špatný	0,4
VII.	havarijní	0,2

Mostní prohlídky se provádějí především pro zabezpečení bezpečnosti provozu na mostních objektech (jinak řečeno, jedná se o použitelnost mostu). Zmíněnou použitelnost mostů rozděluje norma pěti klasifikačními stupni:

1. použitelný,
2. podmíněně použitelný,
3. použitelný s výhradou,
4. omezeně použitelný,
5. nepoužitelný [5].

V případě **použitelného mostu** nemají zjištěné závady vliv na použitelnost mostní konstrukce. Jedná se například o drobné nečistoty nebo drobné lokální trhliny. **Podmíněně použitelný** most je momentálně použitelný, avšak zjištěné závady mohou mít v budoucnu vliv na jeho další použitelnost. Příkladem jsou lokální trhliny v římsách, začínající lokální výtluky v krytu vozovky apod. Posledním stupněm, kdy je most možné využívat a není potřeba okamžité omezení provozu, je 3., tedy most **použitelný s výhradou**. V tomto případě závady mají vliv na jeho použitelnost, jedná se o lokální výtluky ve vozovce, příčné nerovnosti a vyjeté koleje nebo např. trhliny ve vozovce podél mostních závěrů [5].

Poslední dvě skupiny zahrnují závady, při kterých je nutné omezení provozu nebo úplné uzavření mostu. 4. kategorie, tedy **most omezeně použitelný** vyžaduje provizorní opatření či dopravní omezení v takovém rozsahu, aby bylo možné sjednat nápravu. Příkladem jsou plošná porušení vozovky, výtluky podél mostních závěrů, uvolněné těsnící profily nebo např. odpadávání drobných úlomků betonu říms nosné konstrukce. **Nepoužitelný most** pro bezpečný provoz obsahuje závady, jako jsou např. zřícené zábradlí, porušená vozovka v celé ploše mostu nebo např. uvolněné ocelové profily mostních závěrů. Most obsahující takovéto závady je nutné zcela uzavřít, nebo uzavřít část obsahující závadu [5].

2.2.2 Rozdělení prohlídek

U mostních konstrukcí se provádí 4 druhy prohlídek. Jedná se o běžnou, hlavní, mimořádnou a kontrolní prohlídku. Jednotlivé prohlídky se liší dle intervalu vykonávání, rozsahu a druhu kontroly, oprávnění pro jejich výkon apod. [5].

Běžné prohlídky se provádí v případě mostů s kvalifikačním stupněm I. – III. Jedenkrát ročně. U mostů s vyšším kvalifikačním stupněm je třeba prohlídky provádět dvakrát ročně. Do záznamu z běžné prohlídky se zapisou veškeré zjištěné závady. Popis závad je doplněn o nezbytná opatření na provedení údržby mostní konstrukce a oprav. Nezbytnou součástí

je případný návrh na hlavní nebo mimořádnou prohlídku, případně diagnostický průzkum. V případě že by zjištěné závady mohli mít vliv na zatížitelnost mostu, případně kdyby byly závady těžko odstranitelné, je nutné tuto skutečnost nahlásit příslušnému silničnímu správnímu orgánu [5].

Hlavní mostní prohlídka probíhá vždy před uvedením mostní konstrukce do provozu. Nejedná se pouze o zprovoznění nového mostu, ale také mostu po rekonstrukci. Dále je prováděna dle v časových intervalech dle klasifikačních stupňů, viz Tab. 2. V případě dřevěných a provizorních mostních konstrukcí se jedná o prohlídku každé dva roky. Termíny se mohou zkrátit v případě, že se u dané konstrukce zhorší stav, nebo dojde k jeho poškození [5].

Tab. 2: Klasifikační tabulka pro intervaly hlavních mostních prohlídek [5]

Klasifikační stupeň	Časové intervaly prohlídky
I. – III. Stupeň	Interval 4-6 let
IV. stupeň	Interval 3-4 roky
V. – VII. stupeň	Interval do 2 let

Tuto mostní prohlídku může provádět pouze osoba s vysokoškolským vzděláním technického směru a platným oprávněním k výkonu provádění hlavních a mimořádných prohlídek mostů pozemních komunikací, které je vydané Ministerstvem dopravy ČR. U hlavní prohlídky je důležitá kontrola všech částí mostu především z hlediska spolehlivosti konstrukce. Hlavními parametry je únosnost, životnost, použitelnost a bezpečný provoz [5].

Výstup z hlavní prohlídky mostu zahrnuje:

- popis částí mostu,
- popis stavu a závad částí mostu,
- hodnocení péče o most a kvalita práce při údržbě a opravách,
- návrh opatření pro údržbu a opravy včetně termínů pro odstranění závady,
- potvrzení nebo změnu hodnocení stavu mostu a zatížitelnosti,
- specifikace přidaných požadavků na nutnost nového určení zatížitelnosti nebo diagnostického průzkumu mostu,
- stanovení termínu následné hlavní prohlídky mostu [5].

Často je k záznamu z hlavní prohlídky přikládána dokumentace obsahující veškerá provedená měření. V případě, že by v rámci prohlídky byly zjištěny závady, které by mohly

ovlivnit bezpečnost provozu ať už po mostní konstrukci nebo by byla ohrožena doprava pod konstrukcí, je záznam o prohlídce urychleně zaslán příslušnému orgánu k řešení a případně uzavření mostu (to platí i v případě prohlídky mimořádné) [5].

Hlavní prohlídka slouží také jako podklad pro další stanovení požadavků na údržbu mostní konstrukce, případně diagnostický průzkum, který lépe dokáže odhalit rozsah poškození a nutné opravy k zajištění odstranění závad [5].

Mimořádná prohlídka se provádí po nějaké nečekané události, která by mohla mít vliv na účinnost mostu. Takovou událostí jsou například živelné pohromy, dopravní nehody, nebo zjištění pohybu svahů (např. svážení). Mimořádné prohlídky se také provádí před plánovaným průjezdem nadměrného nákladu, stejně tak po jeho průjezdu. Dále se provádí v případě nežádoucích až nebezpečných jevů při jízdě vozidel. Je také doporučeno mimořádnou prohlídku provést v případě objevení větších trhlin, které je třeba kontrolovat a stejně tak před uplynutí záruční doby na konstrukci mostu [5].

Výsledkem prohlídky je zjištění okamžitého stavu mostu. Rozsah prohlídky a jeho provádění se dá přirovnat hlavní mostní prohlídce, nicméně se nemusí kontrolovat most celý, ale pouze určitá zvolená ohrožená část. Stejně jako u hlavní prohlídky je v případě potřeby doporučeno provést diagnostický průzkum mostu [5].

Kontrolní prohlídky slouží ke kontrole provádění běžných, hlavních a mimořádných prohlídek. Především se kontroluje dodržování předepsaných termínů prohlídek. Dále rozsah a kvalitu zpracování, viz záznam z prohlídky. Nedílnou součástí je kontrola plnění navržených opatření [5].

Kontrolní prohlídky vykonává nadřízený správní úřad, a to v intervalech mezi 4 a 6 lety [5].

3. Diagnostický průzkum

Diagnostický průzkum se provádí za účelem včasného zjištění vad, poruch, případně jiné degradace mostní konstrukce v souvislosti s bezpečností a životností objektu. Diagnostický průzkum může také sloužit k učení způsobu údržby mostní konstrukce, nebo jeho oprav či rekonstrukce, které navazují na závěry mostní prohlídky. Stejně tak diagnostický průzkum přispívá k doplnění dokumentace mostního objektu, nebo jako podklad pro statické výpočty zatížitelnosti mostu [6].

Obecně se rozlišují tři základní druhy diagnostického průzkumu:

- měření ke zjištění mechanických vlastností materiálů, které tvoří nosnou část konstrukce, nejčastěji se jedná o beton a ocel (využitá na výztuž),

- měření ke zjištění stupně oslabení, nebo stupně koroze jednotlivých částí mostní konstrukce,
- zkoušky, které zjišťují odezvy konstrukce [6].

Rozsah diagnostického průzkumu je ve většině případů dán účelem, pro který se průzkum provádí. Zároveň záleží na stavu mostního objektu, jak jsou jeho jednotlivé části přístupné, nebo na vybavenosti diagnostické firmy, která průzkum provádí. Bohužel v praxi se lze setkat s případy, kdy diagnostiku provádí firma, která nemá potřebné vybavení. Z průzkumu tak nemusí vzejít adekvátní výsledky. V ideálním případě by diagnostiku měla provádět pouze firma, která ji zvládne udělat dobře, a zároveň má potřebné vybavení, případně je schopná si jej zajistit. V některých případech lze průzkum omezit pouze na určitou část objektu. Ve většině případů se tak jedná na žádost zadavatele diagnostického průzkumu, nebo v případě, že je dochována dokumentace mostního objektu [6].

Klasifikace diagnostického průzkumu dle jeho rozsahu se dá rozčlenit do čtyř kategorií. Jedná se o základní, dílčí, podrobný a doplňkový průzkum [6].

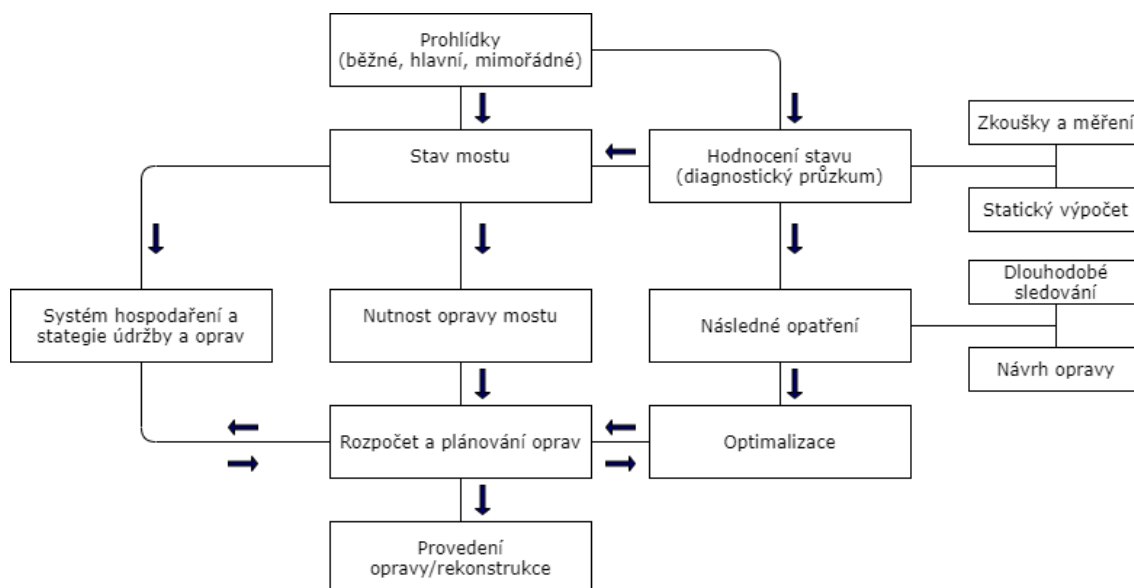
Základní diagnostický průzkum zjišťuje aktuální stav objektu. Tento typ průzkumu se využívá jako doplněk k hlavní nebo mimořádné prohlídce mostu. Lze jej také využít při potřebě doplnění dat či zajištění dokumentace k danému objektu [6].

V případě neúplné nebo neaktuální dokumentace mostu se provádí **dílčí průzkum**. Jeho účelem je zajištění potřebných dat např. pro výpočet zatížitelnosti mostu. Existuje i varianta, kdy dokumentace k mostu existuje, avšak bude se provádět podrobný statický výpočet, ke kterému jsou dosavadní informace v dokumentaci nedostačující. Hraje zde i roli, zda bude provádět statický výpočet celé mostní konstrukce nebo pouze některé z dílčích částí [6].

Podrobný diagnostický průzkum se zpracovává v případě, že byly již dříve (např. v rámci mostní prohlídky) zjištěny závady. Diagnostický průzkum se stane podkladem pro vypracování dokumentace, na základě, které bude provedena oprava závady, či rekonstrukce mostu [6].

Doplňkový diagnostický průzkum se provádí převážně až v průběhu opravy, nebo rekonstrukce mostu. V této době mohou být odhaleny další skutečnosti, na základě, kterých je vznesen požadavek na diagnostiku mostu. Ta může v této situaci upřesnit rozsah prováděných prací, či potvrdit (nebo vyvrátit) vhodnost zvolené metody opravy [6].

Postup prací při hodnocení stavu konstrukce zaznamenává schéma, viz Obr. 1. Je nutné si uvědomit, že před samotným diagnostickým průzkumem je nutné provést prohlídku mostu. Až poté následují další kroky, které vychází právě z provedené mostní prohlídky [6].



Obr. 1: Postup prací při hodnocení stavu konstrukce zpracován na základě [6]

3.1 Vady, poruchy a jejich příčiny

V průběhu životnosti mostu dochází k jeho poškození. Vady a poruchy mají různé příčiny. Některým lze předcházet, jiné jsou nahodilé, další vznikají přirozeným stárnutím mostní konstrukce.

3.1.1 Vady a poruchy

Je důležité rozlišovat rozdíl mezi vadou a poruchou na konstrukci mostu. Vada je nepříznivý jev, který ovšem nesnižuje míru spolehlivosti stavby (tedy bezpečnost, použitelnost a trvanlivost). Vady nevznikají jen v průběhu užívání mostu (přirozené stárnutí, nedostatečná údržba atd., ale mohou vzniknout již při přípravě stavby. Takové vady vznikají převážně jako nedostatky v projektu, nebo nekvalitní realizaci konstrukce [7].

Porucha na rozdíl od vady značí částečnou nebo úplnou ztrátu dané konstrukce plnit požadovanou funkci. Porucha vzniká následkem působení několika vad. Rozlišují se tři základní druhy poruch dle jejich statického významu ke konstrukci:

- Staticky nevýznamné poruchy,
- Staticky významné poruchy,
- Poruchy staticky velmi závažné [7].

Staticky nevýznamné poruchy nemají vliv na únosnost stavby. Pokud by se tato porucha neodstranila a nechala se dlouhodobě působit na konstrukci, může její dlouhodobé působení

vést k omezení použitelnosti konstrukce. Oprava těchto poruch je převážně jednoduchá a nenáročná [7].

Poruchy, které jsou ze statického a funkčního hlediska **významné** často omezují únosnost a použitelnost staveb. Může se jednat například o větší trhliny v nosné konstrukci. Sanace těchto poruch je vždy technicky náročná, pracná a často finančně nákladná [7].

Velmi závažné statické poruchy jsou takové, kdy hovoříme o havarijním stavu objektu. Tyto poruchy přímo ohrožují únosnost a stabilitu mostu, zároveň ohrožují bezpečnost užívání stavby. Takové poruchy musí být neodkladně odstraněny. V opačném případě se daný most musí uzavřít [7].

3.1.2 Vznik vad a poruch

Vady a poruchy mostních konstrukcí mají různé činitele. Lze je rozčlenit do tří základních skupin. Vnější činitele (tedy účinky okolního prostředí), vnitřní činitele a konstrukční činitele [7].

Vnější činitele zobrazuje schéma na Obr. 1. Příkladem těchto poruch jsou např. poruchy způsobené technologií zimní údržby, poškození mostní konstrukce způsobené nárazem vozidla při autonehodě. Ne příliš obvyklé je poškození požárem, kdy se zvolí nesprávný způsob hašení, kdy dojde k rychlému ochlazení nosné konstrukce. Stejně tak ohrožuje mostní konstrukci voda, příkladem jsou povodně [8].

Poruchy mohou vzniknout také přetížením. To vzniká ze dvou příčin. Prvním je zvýšení intenzity dopravy, na kterou mostní konstrukce nebyla dimenzována. Druhou je nerespektování maximální hmotnosti vozidel, která mohou po objektu přejet [8].



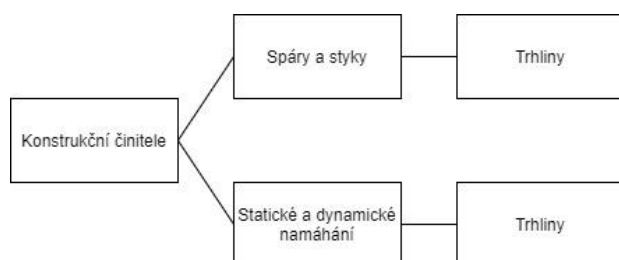
Obr. 2: Schéma vnějších činitelů pro vznik vad a poruch zpracováno na základě [7]

Vnitřní činitele zobrazuje schéma na Obr. 3. Poruchy, které způsobují vnitřní činitelé, způsobují trhliny v mostní konstrukci, nebo dokonce rozpad a ztrátu pevnosti mostu. Jedná se například o poruchy izolace, poruchy mostovky způsobené např. nedostatečnou ochranou proti korozi [8] .



Obr. 3: Schéma vnitřních činitelů pro vznik vad a poruch zpracováno na základě [7]

Poslední kategorií jsou **konstrukční činitelé**, viz Obr. 4. Příkladem těchto činitelů je porucha příslušenství mostů. Často se tato porucha podceňuje, ale v budoucnu může vážně ovlivnit správnou funkci nosné konstrukce mostu. Jedná se například o nesprávně uložená ložiska, což způsobuje deformaci, nebo trhliny v nosné konstrukci [8].



Obr. 4: Schéma konstrukčních činitelů pro vznik vad a poruch zpracováno na základě [7]

3.2 Metody diagnostického průzkumu

Existuje mnoho diagnostických metod zkoušení vlastností materiálů a konstrukcí. Následující přehled zaznamenává metody využívané v České republice a popsané dle ČSN. Obecně se diagnostické metody dělí do tří kategorií. Tyto kategorie popisují stupeň poškození diagnostikované konstrukce.

Diagnostické metody lze rozlišit z několika hledisek, např. norma ČSN EN 13791 [9] dělí metody na přímé a nepřímé. Pro BP je upřednostněno rozlišení na metody:

- nedestruktivní,
- semidestruktivní,
- destruktivní [10].

Následující podkapitoly se podrobněji věnují vybraným diagnostickým metodám, které jsou následně využity v praktické části práce. Kromě zmíněných metod existuje i mnoho dalších, které mohou být pro určitou diagnostikovanou konstrukci vhodnější.

3.2.1 Nedestruktivní metody

Nedestruktivní metody ve většině případů nijak nepoškozují konstrukci mostu. U některých metod se zkoušený povrch upraví zbroušením, větší zásahy nejsou třeba. Tyto metody lze rozdělit na základě fyzikálního principu, na kterém jsou založeny. Jedná se o zkoušky tvrdoměrné, elektrodynamické, elektromagnetické, elektrické, radiační a tenzometrické [11].

Tvrdoměrné zkoušení

Tvrdoměrné zkoušení betonu (tzv. sklerometrické zkoušení) je jednou ze základních nedestruktivních metod. Podstata tohoto zkoušení spočívá v povrchovém zkoušení betonu pomocí zařízení zvaného tvrdoměr. Ten měří a vyhodnocuje vrácenou **hodnotu odrazu v závislosti na pružné reakci betonu** [12].

Tvrdoměrné metody lze rozdělit podle použitého přístroje. Nejčastěji se využívá Schmidtův tvrdoměr, v historii se používal Waitzmannův, Kuličkový nebo Špičákový tvrdoměr. Ovšem tyto zařízení jsou analogová a jejich výsledky je třeba přepočítávat. Dnes se využívá především SilverSchmidt, Schmidt Live apod. Tyto zařízení jsou integrované a digitální. Tato zařízení jsou schopná rovnou vyhodnocovat potřebné metody a není třeba naměřené hodnoty přepočítávat [12].

Před začátkem měření pomocí Schmidtova tvrdoměru se musí provést očištění zkoumaného místa. Je třeba plochu obrousit a očistit od povrchových úprav betonu (např. od sjednocovacích nátěrů). Stejně tak se musí odstranit část, která podléhá karbonataci. Tato metoda spočívá ve velikosti odrazu beranu přístroje zpět. Přístroj zaznamená délku vratné dráhy beranu, ten při zpětném pohybu posune značku na stupnici přístroje. Pro zjišťování tvrdosti se provádí několik kontrolních měření na různých částech konstrukce [13]. Nejméně je zapotřebí 7 platných měření (platí podle ČSN 73 1373 [12], nikoli podle ČSN EN 12504-2 [14]) [12].

Naměřené hodnoty odrazu se porovnají a vyřadí se hodnoty, které se odlišují od aritmetického průměru o více (nebo méně) než dvacet procent. Ze zbývajících hodnot se vypočte aritmetický průměr, který se zaokrouhlí na jeden dílek stupnice. Výsledná hodnota se pomocí kalibračního vztahu převede na pevnost betonu v tlaku. Konkrétní výpočet bude

představen v praktické části práce (platí podle ČSN 73 1373 [12], nikoli podle ČSN EN 12504-2 [14]) [13].

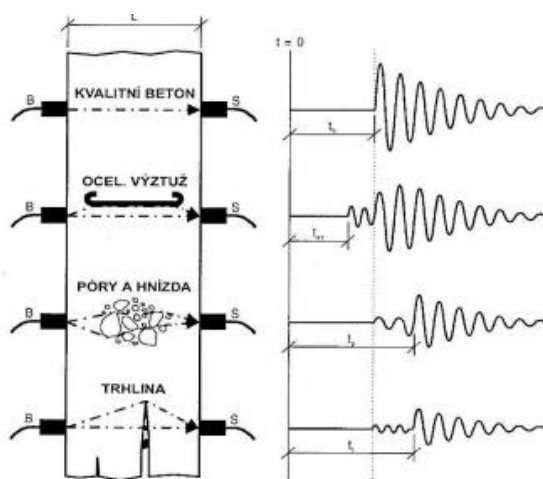


Obr. 5: Odrazový tvrdoměr Schmidt [15]

Ultrazvuková impulzivní metoda

Pomocí této metody lze zjistit rovnoměrnost betonu, jeho pevnost a modul pružnosti. Podstatou této metody je využití ultrazvukového vlnění. K měření se využívá zařízení, které se skládá z elektrického generátoru, budiče, snímače, zesilovače a elektronického měřiče rychlosti. Při měření je důležité znát délku dráhy [11].

Díky rychlosti šíření ultrazvukových vln se dá odhalit přítomnost trhlin nebo dutin v mostní konstrukci (viz Obr. 6). Dále lze odhalit změny vlastností betonu v čase, případně tato metoda napomůže pro stanovení dynamických fyzikálních vlastností [11].

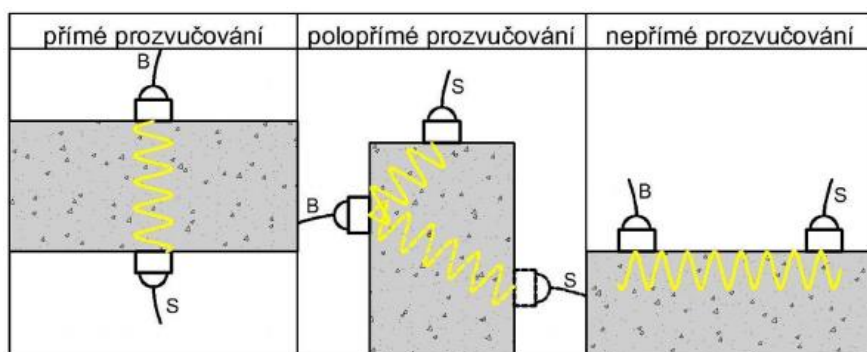


Obr. 6: Vliv kvality, případně vyztužení betonu na rychlosti šíření a tvar impulsu ultrazvukového vlnění [16].

Pokud se zvolí tato metoda, je nejprve nutné zdokumentovat zkoušené těleso. Nedílnou součástí dokumentace je stanovení rozměrů, hmotnosti a objemové hmotnosti zkoušeného tělesa. Dále je nutné stanovit tzv. mrtvý čas na etalonu. Až poté se provedou minimálně 3 měření v různých místech tělesa. Z těchto hodnot se stanoví průměrná hodnota [17].

Samotné měření vykonává elektroakustický budič, který se osadí na plochu zkoumaného tělesa. Ten vyvolá impuls podélných vibrací, které se po průchodu betonem přemění na elektrický signál. V praktické části této práce bude zpracováno měření na několika tělesech, včetně stanovení dynamických modulů společně s výpočtem pevnosti betonu a přepočtem na statický modul pružnosti [17].

Při testování těles záleží na poloze sond. Ty lze umístit celkem třemi způsoby, viz Obr. 7. Budič a snímač lze umístit přímě, tedy sondy jsou kolmo naproti sobě. Polopřímě, kdy jsou sondy umístěné na protilehlých stranách, avšak ne kolmo proti sobě (např. při měření v rohu konstrukce). Poslední možností je nepřímé prozvučování, kdy jsou sondy umístěny na stejné straně konstrukce. Zde se vytváří tzv. trasovací měření [17].



Obr. 7: Možné polohy sond při prozvučování [16]

Mezi další nedestruktivní metody patří např.:

- vizuální prohlídka,
- radiografie,
- termografie,
- elektromagnetické indikátory [17].

3.2.2 Semidestruktivní metody

Semidestruktivní metody zkoušek částečně poškozují danou konstrukci. Před vykonáním semidestruktivní zkoušky je vždy na místě zvážení důsledků zásahu do konstrukce, které z odběru vzorků vyplývají. Nejčastěji se jedná o odtrhy nebo jádrové vývrty [11].

Jádrové vývrty

Jednou z nejvhodnějších metod pro určení pevnosti betonu je odběr jádrových vývrtů. Zároveň se z odebraného materiálu dá získat informace o skladbě betonu a aktuálním stavu povrchových vrstev betonu. Tato metoda je pracná a její správnost závisí i na počtu odebraných vzorků, stejně jako místech odběrů a kvalitě odběru [18].



Obr. 8: Jádrové vrtání [19]

Velikost vývrtu záleží na následném testování, tedy zda bude srovnáván s krychelnou nebo válcovou pevností. Každý odebraný vzorek musí být zřetelně a nesmazatelně označen. Stejně tak musí být zaznamenáno místo a orientace na prvku, ze kterého vývrt pochází [18].

Samotné zkoušení probíhá v akreditovaných laboratořích. Díky lisům se zkouší mnoho pevností, z nichž nejdůležitější je v tomto případě pevnost v tlaku. Před samotným vložením do lisu se vzorky musí ořezat do požadovaného tvaru, vzniknou tzv. zkušební tělesa. Styčné plochy těchto těles se musí dostatečně obrousit kvůli odbourání tření mezi zkušebním tělesem a lisem. Poté se těleso označí a změří, následně je připraveno k testování a vloženo do lisu. Zde se zatěžuje až do vyčerpání pevnosti materiálu [20].

3.2.3 Destruktivní metody

Jak již název napovídá, u destruktivních metod dochází k narušení zkoumané konstrukce. Nejčastěji se odstraní krycí vrstva betonu za použití bouracích nástrojů. Proto je tato metoda částečně nepraktická a je třeba uvážit, zda ji lze použít, a zda lze provést destruktivní zásah do konstrukce. Naopak velkou výhodou této metody je možnost zjištění skutečného stavu výztuží nacházejících se nejbližší k povrchu. Na druhou stranu, k dalším vrstvám výztuží se ve většině případů není možné z důvodu narušení únosností konstrukce dostat [21].

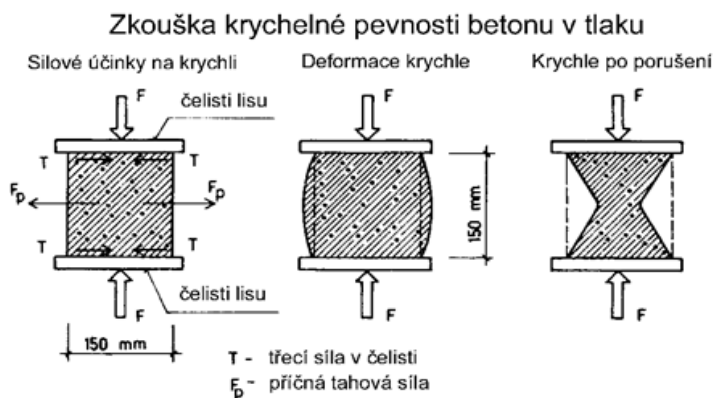
Mezi destruktivní metody se řadí pevnost v tlaku, pevnost v tahu a sondy výztuže.

Pevnost v tlaku

Pro otestování pevnosti v tlaku se využívá lisu. Zkušební těleso získané ze vzorku mostního objektu je v lisu zatěžováno (rychlostí od $0,6 \text{ MPa/s} \pm 0,2 \text{ MPa/s}$), až do jeho porušení, viz Obr. 9. Maximální zatížení se zaznamená a může se tak vypočítat pevnost betonu v tlaku [22].

Před samotným zahájením testování musí být očištěny plochy tlačných desek lisu. Zároveň musí být očištěno zkušební těleso. Při vložení tělesa do lisu se nesmí vkládat nic mezi tlačné desky lisu a tlačené plochy zkušební tělesa (jedinou výjimkou jsou přídavné desky, nebo středící bloky). Následné zatěžování tělesa musí probíhat konstantní rychlostí [22].

Vyhovující zkouška odpovídá nejen číselnému vyjádření, viz ČSN EN 12390-3 [22], ale také požadovanému tvaru při porušení zkušební tělesa. Jakékoli nepravidelné praskliny či odštípnutí části tělesa je nepřípustné [22].



Obr. 9: Zkouška krychelné pevnosti betonu v tlaku [23]

Sondy výztuže

Tato metoda je čistě vizuální. Její podstata spočívá v mechanickém odstranění krycí vrstvy betonu, kdy jsou odhaleny výztuže. Nejčastěji se využívá bouracího kladiva. Následně jsou výztuže vizuálně ohodnoceny odborníkem. Např. zda nepodléhají korozi apod.

Tato metoda se využívá spíše u starších mostů, u nových konstrukcí je ve většině případů tato metoda nevhodná, jelikož dochází k nežádoucímu poškození povrchu konstrukce. Proto se při zjišťování polohy výztuže, případně průměru výztuže nebo tloušťky krycí vrstvy využívají nedestruktivní metody, jako je: elektromagnetický indikátor, radiografie, skenery s radarovými anténami (např. od Hilti – PS 1000 X-Scan [24]) apod. [25].

3.2.4 Kombinované metody

Mezi kombinované metody lze zařadit chemické zkoušky betonu. Samotné níže zmíněné zkoušky jsou nedestruktivního charakteru, nicméně k jejich provedení je nejdříve potřebný zásah do konstrukce (např. získání vzorků vývrtů).

Karbonatace betonu

Karbonatace (neboli tvorba uhličitánů) je čistě chemický proces, který postupuje společně se stárnutím betonu. Čerstvý beton je výrazně zásaditý, postupem času dochází postupně od povrchu k jeho neutralizaci. Karbonatace betonu nemá z hlediska pevnosti zásadní vliv. Nicméně pokles koncentrace hydroxidových iontů v pórovém roztoku cementového tmelu může způsobit korozi ocelové výztuže [10].

K odhadu hloubky karbonatace je využíváno fenolftaleinové zkoušky. Vývrt získaný z mostní konstrukce se po obroušení nebo rozdrčení zkontroluje destilovanou vodou. Poté se nechá oschnout. Následně se na povrch betonu aplikuje 1% lihový roztok fenolftaleinu v 70 % etylalkoholu. Výsledné znamení je červenofialové zbarvení části vzorku (viz Obr. 10). V této části má beton hodnotu pH vyšší než 9,5. Tento výsledek značí, že v této hloubce je výztuž chráněna proti korozi [10].



Obr. 10: Karbonatace betonu

Je nutné zmínit, že tato zkouška je čistě orientační, na korozi výztuže má vliv mnoho dalších faktorů a chemických procesů jako je například přítomnost chloridů, nebo přímé působení kyselin na železobeton [10].

B. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část se zabývá prohlídkou mostní konstrukce ve Starém městě, zjištěním vad a poruch konstrukce a vypracováním záznamu prohlídky. V rámci prohlídky byl proveden diagnostický průzkum nosné konstrukce mostu.

Na základě výsledků mostní prohlídky a testování odebraných vzorků bylo provedeno zhodnocení stavu konstrukce a navržena potřebná sanační opatření.

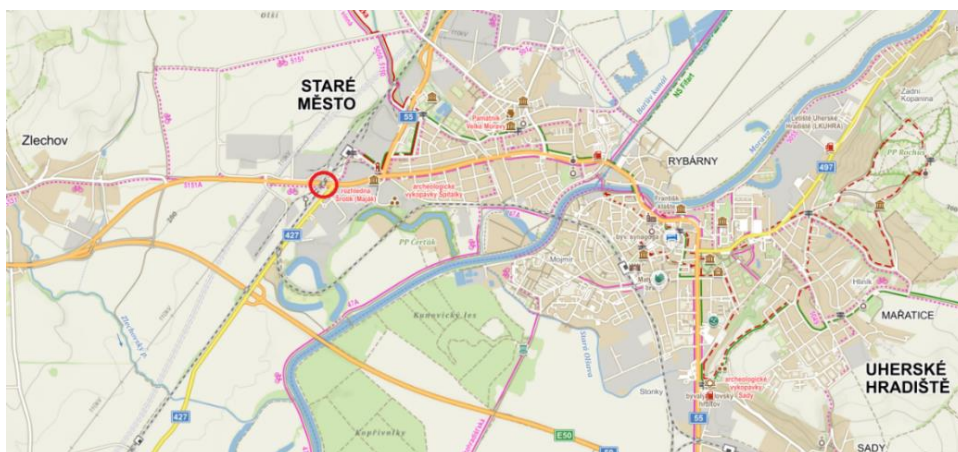
4. Mostní prohlídka

Následující podkapitoly obsahují základní údaje o mostní konstrukci a konstrukční uspořádání mostu. Dále stav a zjištěné závady části mostu.

4.1 Základní údaje a obecný popis objektu

Název mostu:	Jednopolový železniční most přes silnici I/55H
Evidenční číslo mostu:	ekm 137,608 (TÚ 2401)
Převáděná komunikace:	Železniční trať
Předmět přemostění:	Komunikace I/55H
Kraj:	Zlínský
Okres:	Uherské Hradiště
Správa:	Správa železniční dopravní cesty

Jednopolový železniční most přes komunikaci I/55 ve městě Staré Město, viz Obr. 12. Nachází se v ulici Brněnská v okrajové části města, viz Obr. 11. Převádí železniční dopravu na traťovém úseku 330 Přerov – Břeclav [26].



Obr. 11: Obec Staré Město a Uherské Hradiště s vyznačenou polohou objektu [27]



Obr. 12: Pohled na most z pravé (uherskohradištské) strany

4.2 Konstrukční uspořádání mostu

Konstrukce mostu je složená z několika částí. Tvoří ji založení, spodní stavba, nosná konstrukce, ložiska, římsy, mostní vybavení a cizí zařízení. Konkrétní složení jednotlivých částí vybraného mostu je popsáno níže.

4.2.1 Založení

Způsob založení spodní stavby mostu nebyl v rámci diagnostického průzkumu zjišťován. Most je pravděpodobně založen plošně z prostého nebo slabě vyztuženého betonu na skalním podloží nebo dostatečně únosné podkladní vrstvě.

4.2.2 Spodní stavba

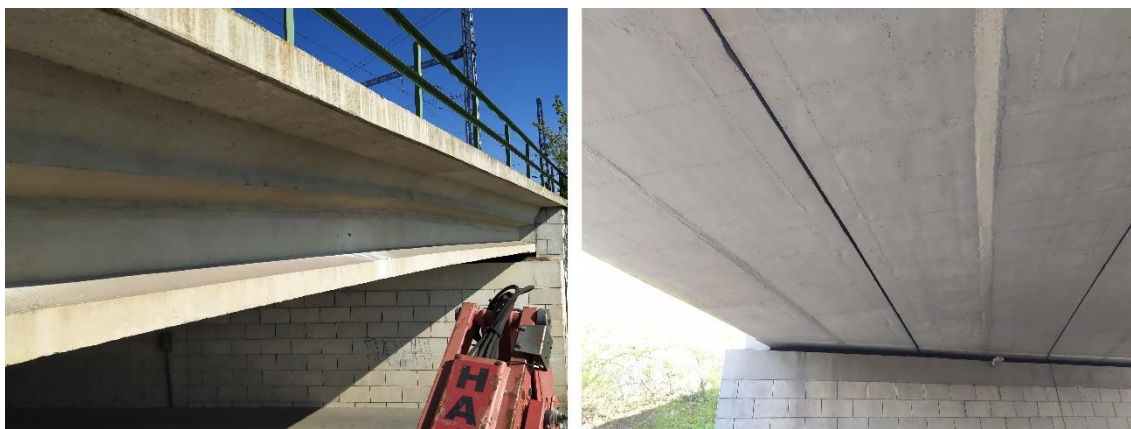
Spodní stavba nebyla v rámci diagnostického průzkumu zkoumána. Opěry jsou masivní z prostého betonu nebo železobetonu. Jsou rozděleny do čtyř celků a odděleny svislou spárou tl. 20 mm. Součástí opěr jsou železobetonové úložné prahy. Po obou stranách jsou betonová křídla rovnoběžná s osou převáděné dráhy, viz Obr. 13.



Obr. 13: Vlevo pohled na mostní opěru, vpravo pohled na mostní křídlo

4.2.3 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena šestnácti prostě uloženými předpjatými nosníky tvaru „I“, které jsou spojeny do dvojic zmonolitněnou podélnou spárkou, viz Obr. 14. Každý nosník je spojením tří dílců příčnou spárkou. Nosná konstrukce přemostňuje délku 15,00 m. Celková šířka nosné konstrukce je 46,93 m s pravou šikmostí 57°. Volná výška pod mostem je 4,80 m [28].



Obr. 14: Vlevo pohled na boční stranu nosníku, vpravo pohled ze spodu nosníků

4.2.4 Ložiska

Nosná konstrukce je uložena prostě pomocí pevných ložisek na jedné opěře, viz Obr. 15 a pohyblivými válcovými ložisky na druhé opěře. Celkem je na každé opěře použito 32 ložisek.



Obr. 15: Pohled na pevné ložisko

4.2.5 Římsy

Na obou okrajích mostu jsou provedeny železobetonové římsy jako římsové konzole, viz Obr. 16.



Obr. 16: Vlevo pohled ze spodu na římsu, vpravo pohled na římsu se zábradlím

4.2.6 Mostní vybavení

Na obou římsách je osazeno ocelové zábradlí z „L“ profilů s vodorovnou výplní, viz Obr. 16.

4.2.7 Cizí zařízení

Součástí spodní stavby je veřejné osvětlení a nivelační značka, viz Obr. 17.



Obr. 17: Nivelační značka

4.3 Stav a závady částí mostu

4.3.1 Založení

Konstrukce nevykazuje žádné poruchy, které by svědčily o nedostatečné funkci základů.

4.3.2 Spodní stavba

Jedna z opěr vykazuje drobné průsaky vody skrz vodorovnou spáru. Jedná se pravděpodobně o dlouhodobější problém, neboť na opěře jsou patrná místa, která byla dříve vlhká, ovšem v současné době jsou suchá. Průsak vody má tedy zřejmě nárazový charakter. Průsaky byly viditelné jen na jednom místě opěry, viz Obr. 18. Opěry jsou jinak ve velice dobrém stavu a nevykazují jiné závady či poruchy.



Obr. 18: Průsaky vody skrz vodorovnou spáru

Na několika místech úložných prahů byla lokálně odpadlá omítka a část betonu konstrukce, hlavní nosná výztuž nebyla odhalena, viz Obr. 19.



Obr. 19: Lokálně odpadlá omítka

4.3.3 Nosná konstrukce

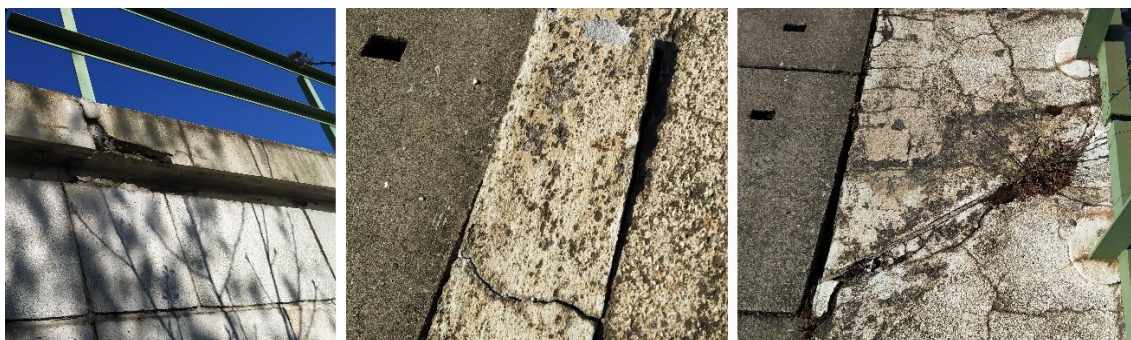
Nosná konstrukce nevykazuje poruchy či závady.

4.3.4 Ložiska

Ložiska nevykazují poruchy či závady.

4.3.5 Římsy

Římsy vykazují degradaci betonu a vrstvy omítky. V římsách jsou viditelné trhliny, lokálně odpadlé kusy omítky nebo betonu konstrukce, viz Obr. 20.



Obr. 20: Poruchy říms

4.3.6 Mostní vybavení

Ocelové zábradlí nevykazuje poruchy či závady, viz Obr. 21.



Obr. 21: Pohled na detail zábradlí

5. Provedené práce a vyhodnocení zkoušek

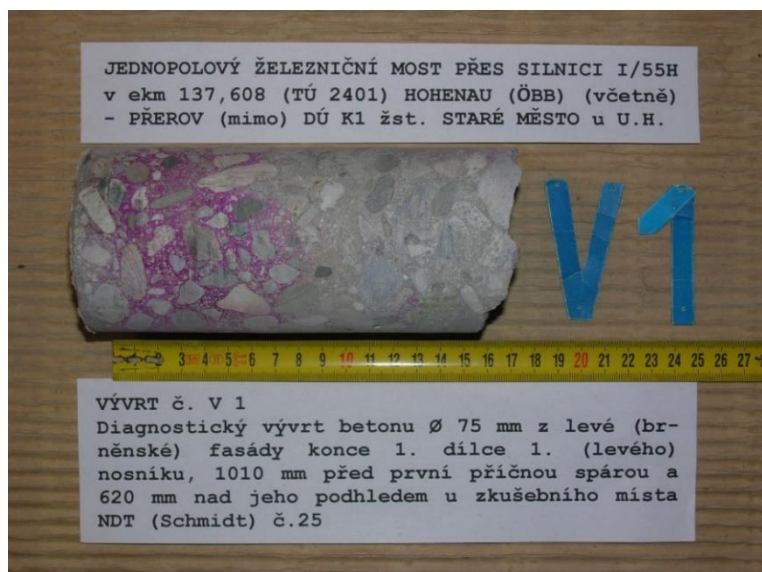
Firmou Mostní vývoj, s.r.o. byly provedeny tvrdoměrné zkoušky pomocí Schmidtova kladívka typu N a jádrové vývrty z nosníků a římsových konzol. Dále byly provedeny vrtané sondy k hlavní nosné výztuži, stanovení karbonatace pomocí roztoku fenolftaleinu a odběr vzorků pro zjištění chloridových iontů.

Vývrty byly zkoušeny v laboratořích SZK FAST VUT, přičemž byla stanovena objemová hmotnost, dynamický i statický modul pružnosti a pevnost v tlaku betonu.

5.1 Jádrové vývrty

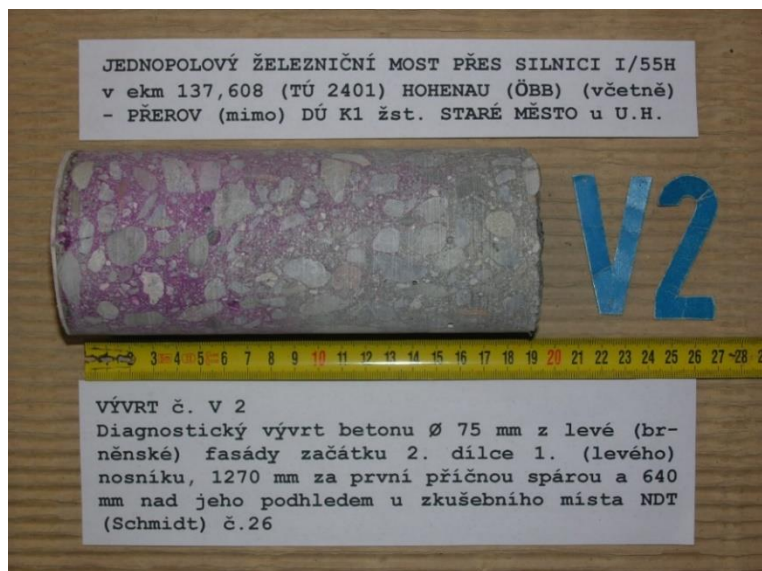
Celkem bylo firmou Mostní vývoj, s.r.o. provedeno 8 jádrových vývrtů, které byly rovnoměrně rozděleny po krajních nosnících a římsových konzolách. V nosné konstrukci bylo provedeno 6 jádrových vývrtů a 2 vývrty z římsových konzol. Každý vývrt byl ozkoušen na místě roztokem fenolftaleinu a řádně označen. V laboratoři byl vývrt změřen, popsán a nafocen pro dokumentaci.

Vývrt č. V1 byl proveden v levé (brněnské) fasádě konce 1. dílce 1. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 160 mm z obyčejného betonu, těženého kameniva do velikosti zrn 16 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-4 mm, viz Obr. 22.



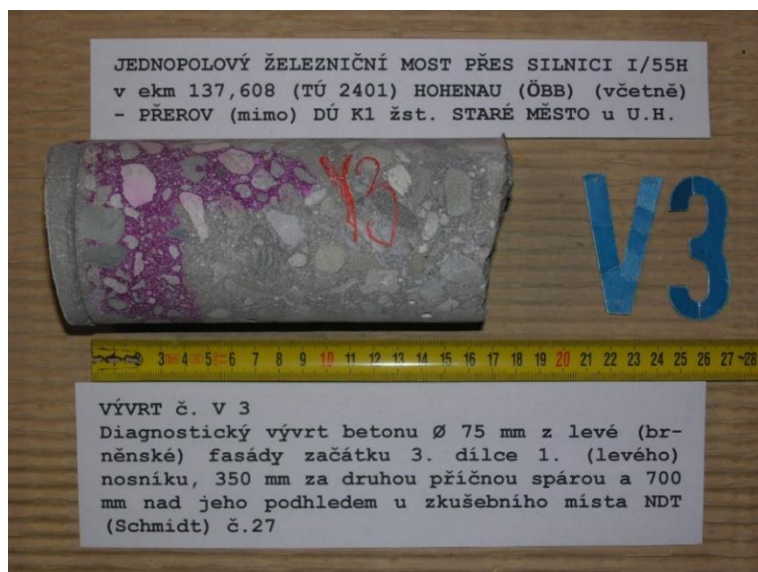
Obr. 22: Vývrt č. V1 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V2 byl proveden v levé (brněnské) fasádě začátku 2. dílce 1. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 185 mm z obyčejného betonu, těženého kameniva do velikosti zrn 16 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-2 mm, viz Obr. 23.



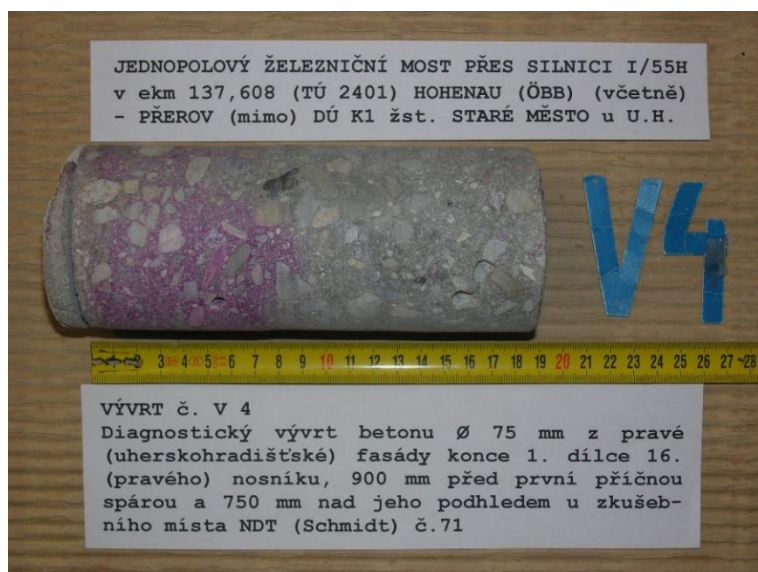
Obr. 23: Vývrt č. V2 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V3 byl proveden v levé (brněnské) fasádě začátku 3. dílce 1. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 170 mm z obyčejného betonu, těženého kameniva do velikosti zrn 14 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-3 mm, viz Obr. 24.



Obr. 24: Vývrt č. V3 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V4 byl proveden v pravé (uherskohradištské) fasádě konce 1. dílce 16. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 180 mm z obyčejného betonu, těženého kameniva s velikostí zrn do 14 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-1 mm, viz Obr. 25. Vývrt obsahuje výztuž ØR 10 mm, jejíž začátek od líce vývrtu je přibližně 70 mm a konec přibližně 130 mm. Osa výztuže je o přibližně 45° potočena oproti podélné ose vývrtu a do tělesa vývrtu zasahuje do hloubky maximálně 15 mm. Z výsledků je patrné, že výztuž získané hodnoty modulu pružnosti ani pevnosti v tlaku nijak zásadně neovlivnila.



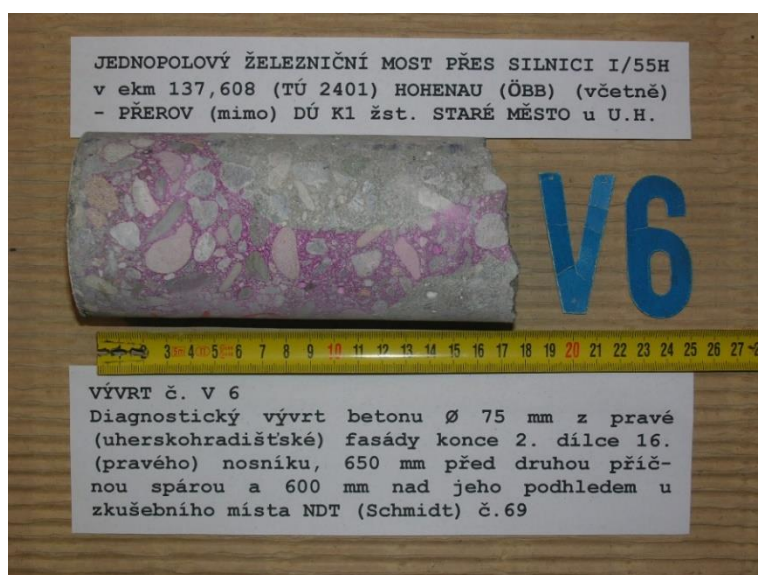
Obr. 25: Vývrt č. V4 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V5 byl proveden v pravé (uherskohradištské) fasádě konce 2. dílce 16. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 50 mm a délky 135 mm z obyčejného betonu, těžného kameniva s velikostí zrn do 13 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-6 mm, viz Obr. 26.



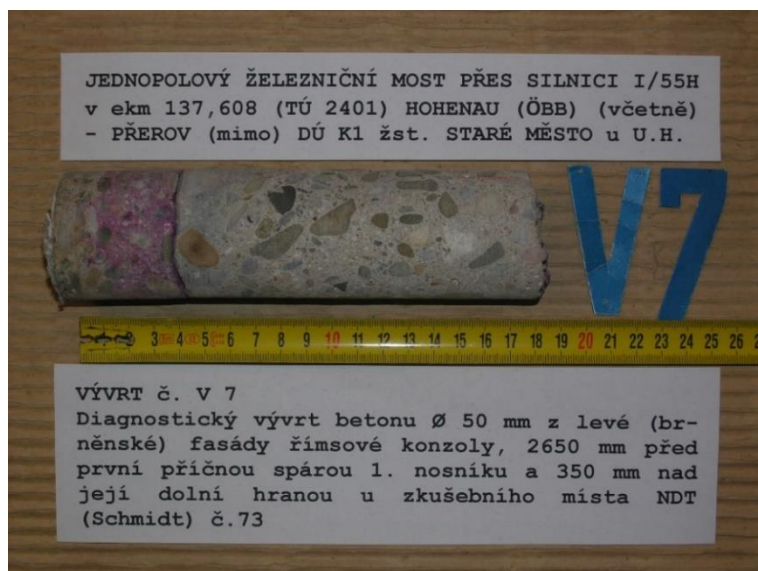
Obr. 26: Vývrt č. V5 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V6 byl proveden v pravé (uherskohradištské) fasádě konce 2. dílce 16. nosníku. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 170 mm z obyčejného betonu, těžného kameniva s velikostí zrn do 14 mm, s hladkým povrchem, bez větších viditelných pórů, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 4-10 mm, viz Obr. 27.



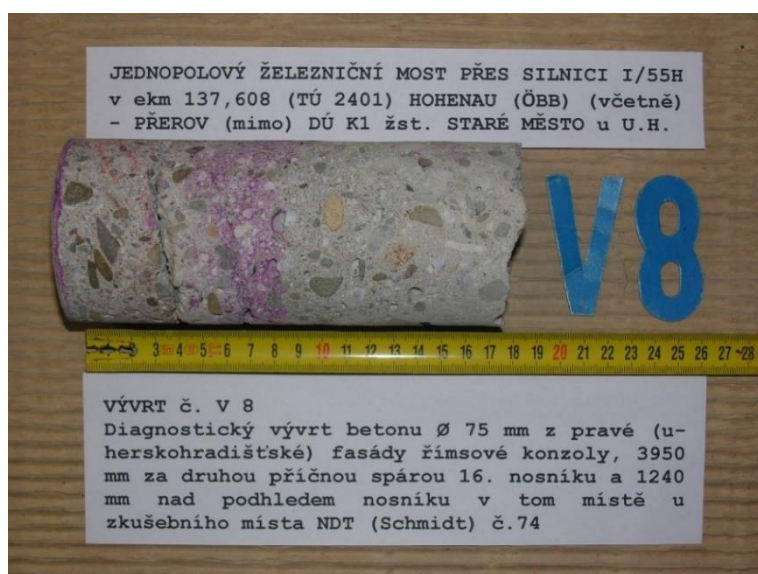
Obr. 27: Vývrt č. V6 z nosné konstrukce [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V7 byl proveden v levé (brněnské) fasádě římsové konzoly. Jedná se o vývrt průměru 50 mm a délky 180 mm z obyčejného betonu, těžného kameniva s velikostí zrn do 21 mm, s hladkým povrchem, mírně pórovitý, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 0-25 mm, viz Obr. 28.



Obr. 28: Vývrt č. V7 z římsové konzoly [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

Vývrt č. V8 byl proveden v pravé (uherskohradištské) fasádě římsové konzoly. Jedná se o vývrt průměru 75 mm a délky 175 mm z obyčejného betonu, těžného kameniva s velikostí zrn do 15 mm, s drsným povrchem, mírně pórovitý, ztráta pasivačních vlastností do hloubky 41-52 mm, viz Obr. 29.



Obr. 29: Vývrt č. V8 z římsové konzoly [fotoarchiv Ing. Jana Kryštofa z firmy Mostní vývoj, s.r.o.]

5.2 Tvrdoměrné zkoušky

Tvrdoměrné (sklerometrické) zkoušky byly provedeny pomocí Schmidtova kladívka typu N [29], viz Obr. 30.



Obr. 30: Schmidtovo kladívko typu N [29]

Místa zkoušení byla rovnoměrně vybrána tak, aby zachytila celou nosnou konstrukci, příčné i podélné spáry nosné konstrukce a římsové konzoly. Každé zkušební místo bylo obroušeno, až na vrstvu betonu, viz Obr. 31. U všech zkušebních míst bylo zaznamenáno dvanáct hodnot. Na nosné konstrukci bylo měřeno 48 zkušebních míst, z nichž 6 v místech jádrových vývrtů V1 – V6. V příčných spárách bylo měřeno 16 zkušebních míst, v podélných spárách bylo měřeno 8 zkušebních míst. Na římsových konzolách byly měřeny 2 zkušební místa v blízkosti jádrových vývrtů V7 – V8.



Obr. 31: Upravené zkušební místo testováno pomocí Schmidtova kladívka

5.3 Chemické zkoušky

V rámci chemických zkoušek se na mostě provedla karbonatace betonu a dále odběr vzorků pro test chloridů.

5.3.1 Stanovení hloubky karbonatace betonu

Ve spárách a nosné konstrukci byla zjišťována hloubka karbonatace. Stanovení hloubky karbonatace bylo uskutečněno na 8 zkušebních místech provedených formou 4 vrtů, viz Obr. 32. a výsledky jsou uvedeny, viz Tab. 3.



Obr. 32: Zkušební místa pro testování hloubky karbonatace

Tab. 3: Výsledky zkoušek karbonatace betonu

Zkušební místo	Hloubka karbonatace [mm]
F2	0–25 mm
F4	0–1 mm
F5	0–10 mm
F8	0–25 mm
F9	0–20 mm
F11	0–30 a více mm
F14	0–25 mm
F16	0–10 mm

5.3.2 Odběr vzorků pro test chloridů

V rámci provádění chemických zkoušek byly odebrány vzorky ze spár pro zjištění obsahu chloridů. Vzorky byly postupně získány z vrtů do hloubky 10 mm, 20 mm a 30 mm na 4 zkušebních místech. Odebrané vzorky byly popsány a uloženy, viz Obr. 33. Vyhodnocení obsahu chloridových iontů není součástí této práce.



Obr. 33: Odběr vzorků pro stanovení obsahu chloridů

5.4 Kontrola kabelových kanálků

Bylo vybráno několik zkušebních míst, pro provedení vrtaných sond, ke zjištění stavu hlavní nosné výztuže a dostatečné injektáže kabelových kanálků. Injektáž kanálků a stav výztuže byl na všech místech bez závad, viz Obr. 34.

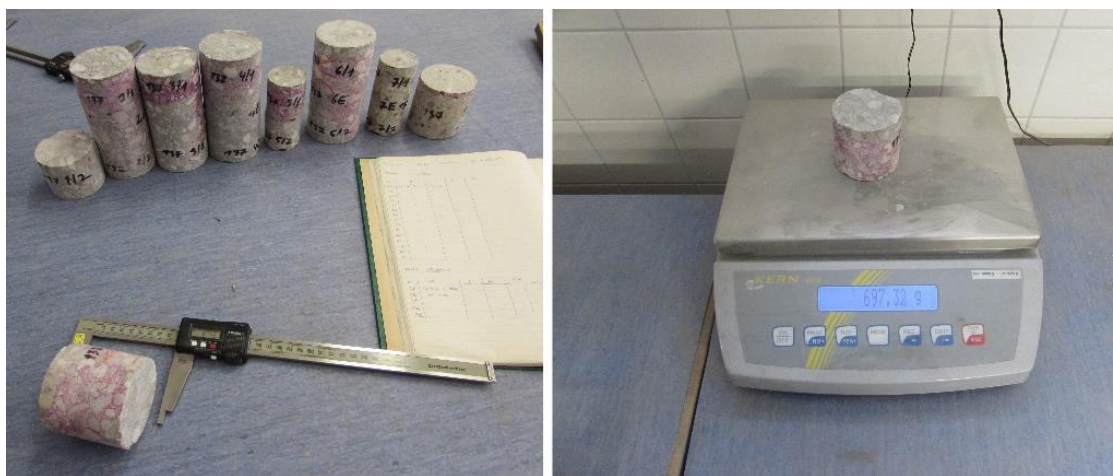


Obr. 34: Vrtaná sonda hlavní nosné výztuže

5.5 Vyhodnocení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost byla vyhodnocena na tělesech tak, jak byla dodána. Zkušební tělesa byla rozdělena na dvě skupiny – první skupina pro zkoušku dynamického a statického modulu pružnosti (štíhlostní poměr těles byl $\lambda = 2$) a druhá pro zkoušku pevnosti v tlaku (štíhlostní poměr těles byl $\lambda = 1$). Tělesa pro stanovení statického modulu pružnosti byla nejdříve

otestována nedestruktivně pomocí ultrazvukové metody a poté byl určen statický modul pružnosti v tlaku. Zkouška nebyla ukončena zatěžováním do porušení – zkušební tělesa byla po zkoušce kotoučovým řezáním rozpůlena tak, aby vzniklá zkušební tělesa měla vhodný štíhlostní poměr ($\lambda = 1$) pro zkoušení pevnosti v tlaku (např. z tělesa 2E vznikla tělesa 2/1 a 2/2). Tělesa se poté znovu zdokumentovala. Na každém tělese byl změřen pomocí digitálního posuvného měřítka **Mitutoyo** (300 mm) [30] průměr d [mm] a výška L [mm]. K určení hmotnosti byla použita digitální váha **KERN** (max. 6000 g, citlivost 0,02 g) [31], viz Obr. 35.



Obr. 35: Vlevo posuvné měřítko **Mitutoyo**, vpravo digitální váha **KERN** [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Tělesa byla rozměrově v souladu s normou ČSN EN 12390-1 [32]. Objem V [m³] zkušebních těles byl stanoven výpočtem z naměřených hodnot. Objemová hmotnost D [kg/m³] se vypočetla ze zjištěných hodnot hmotnosti a objemu zkušebních těles. Výpočet probíhal dle normy ČSN EN 12390-7 [33] ze vztahu:

$$D = \frac{m}{V}$$

kde D je objemová hmotnost v kg/m³ zaokrouhlená na nejbližších 10 kg/m³,
 m hmotnost zkušební tělesa v době zkoušení v kg,
 V objem stanovený příslušným způsobem v m³ [33].

Výsledky objemové hmotnosti byly zaznamenány, viz Tab. 4 a

Tab. 5. Průměrná objemová hmotnost byla stanovena na hodnotu 2330 kg/m³ u těles nosné konstrukce a 2220 kg/m³ u těles říms. Stanovená hodnota odpovídá obyčejnému betonu. Výjimkou bylo těleso 8, kde hodnota dosahovala 2060 kg/m³ [34].

Tab. 4: Záznam z měření a vyhodnocení objemové hmotnosti vzorků pro statický modul pružnosti

Těleso	Průměr d [mm]	Délka L [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost D [kg/m ³]	Objemová hmotnost D [kg/m ³]
2E	73,96	149,74	1501,52	2330	2340
3E	73,49	141,25	1401,28	2340	
4E	73,91	149,14	1509,22	2360	
6E	73,49	141,54	1401,42	2330	
7E	49,33	104,89	450,52	2250	2250

Tab. 5: Záznam z měření a vyhodnocení objemové hmotnosti vzorků pro pevnost v tlaku

Těleso	Průměr d [mm]	Délka L [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost D [kg/m ³]	Objemová hmotnost D [kg/m ³]
1/1	73,95	70,36	697,32	2310	2310
1/2	73,89	58,53	574,42	2290	
2/1	73,95	73,44	736,34	2330	
2/2	73,96	73,56	737,22	2330	
3/1	73,49	70,15	692,88	2330	
3/2	73,49	68,19	680,98	2350	
4/1	73,93	74,79	751,80	2340	
4/2	73,90	71,42	726,26	2370	
5/1	49,39	52,22	219,06	2190	
5/2	49,37	49,27	206,12	2190	
6/1	73,51	69,74	695,08	2350	
6/2	73,48	69,01	678,96	2320	
7/1	49,32	51,44	222,96	2270	2180
7/2	49,34	50,77	214,54	2210	
8	73,37	74,87	653,04	2060	

5.6 Vyhodnocení pevnosti v tlaku

Zkušební tělesa byla rozdělena do skupin pro stanovení pevnosti v tlaku a stanovení modulu pružnosti. Tělesa určená pro stanovení dynamického a statického modulu pružnosti byla po zjištění modulu pružnosti upravena a až poté testována na pevnost v tlaku. Tělesa byla rozřezána na požadovanou délku a vyrovnání nerovností na styčných plochách bylo provedeno zabroušením, viz Obr. 36. Na nově vzniklých tělesech byly opětovně zdokumentovány rozměry a hmotnost [22].



Obr. 36: Úprava těles [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Tělesa byla zkoušena ve dvou zatěžovacích lisech s rozdílnými rozsahy v souladu s normou ČSN EN 12390-4 [35]. Pro tělesa 1/1, 1/2, 2/1, 2/2, 5/1, 5/2, 7/1, 7/2 a 8 byl použit zkušební hydraulický lis DELTA 6-300 [36]. Pro ostatní tělesa byl použit zkušební zatěžovací lis ZD 40 [37], viz Obr. 37. U těchto těles byl na základě předchozích výsledků použit lis s větším rozsahem.



Obr. 37: Vlevo zkušební hydraulický lis DELTA 6-300 [36], vpravo zkušební zatěžovací lis ZD 40 [37] [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Při porušení tělesa během testu se zaznamenalo nejvyšší dosažené zatížení, kterému bylo schopno těleso odolávat. Během testování docházelo k téměř ideálnímu porušení zkušebních těles, viz Obr. 38.



Obr. 38: Tvar porušení tělesa [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Dle výsledků zatěžování těles, se stanovila pevnost betonu v tlaku, jako podíl maximální síly působící na těleso a jeho průřezové plochy. Tělesa neměla normové rozměry, a tak byly do výpočtu vneseny součinitele příčného rozměru a štíhlosti. Pro určení krychelné pevnosti byl do výpočtu vnesen součinitel pro přepočet válcové pevnosti na krychelnou. Výsledný vztah pro výpočet pevnosti dle ČSN EN 12390-3 [22]:

$$f_{c,cube} = \frac{F_c}{A_c} * K_{c,cyl} * K_{c,cube} * K_{cyl,cube}$$

kde	$f_{c,cube}$	je krychelná pevnost v tlaku v MPa,
	F_c	maximální zatížení na těleso v kN,
	A_c	průřezová plocha tělesa v mm ² ,
	$K_{c,cyl}$	součinitele příčného rozměru tělesa,
	$K_{c,cube}$	součinitele štíhlosti tělesa
	$K_{cyl,cube}$	součinitel pro přepočet válcové pevnosti na krychelnou [22].

Výsledné hodnoty byly zapsány do Tab. 6. Těleso 1/2 bylo vyřazeno v důsledku nevyhovující štíhlosti dle ČSN EN 12390-3 [22]. Průměrná hodnota krychelné pevnosti nosné konstrukce byla stanovena na 65,3 MPa. Pro římsové konzoly nabírala hodnoty 29,8 MPa.

Tab. 6: Vyhodnocení zkoušky pevnosti v tlaku na vývrtech [vlastní zpracování]

Těleso	Průměr d [mm]	Délka L [mm]	F _c [kN]	K _{c,cyl}	K _{c,cube}	f _{c,cyl} [MPa]	K _{cyl,cube}	f _{c,cube} [MPa]	f _{c,cube} [MPa]
1/1	73,95	70,36	232,	0,85	0,93	42,8	1,233	52,8	65,3
2/1	73,95	73,44	285,	0,85	0,93	52,5	1,219	64,0	
2/2	73,96	73,56	269,	0,85	0,93	49,6	1,224	60,7	
3/1	73,49	70,15	319,	0,85	0,93	59,6	1,207	71,9	
3/2	73,49	68,19	348,	0,85	0,93	64,9	1,201	77,9	
4/1	73,93	74,79	392,	0,85	0,93	72,3	1,192	86,2	
4/2	73,90	71,42	371,	0,85	0,93	68,4	1,197	81,8	
5/1	49,39	52,22	103,	0,87	0,91	42,8	1,233	52,8	
5/2	49,37	49,27	120,	0,85	0,91	48,8	1,225	59,8	
6/1	73,51	69,74	244,	0,85	0,93	45,5	1,229	56,0	
6/2	73,48	69,01	296,	0,85	0,93	55,3	1,214	67,1	
7/1	49,32	51,44	63,3	0,86	0,91	26,0	1,248	32,4	29,8
7/2	49,34	50,77	51,1	0,86	0,91	21,0	1,251	26,2	
8	73,37	74,87	128,	0,86	0,93	24,3	1,249	30,3	

5.7 Vyhodnocení pevnosti v tlaku pomocí tvrdoměru

Nedestruktivně naměřeným hodnotám odrazu pomocí Schmidtova kladívka typu N [29] se přiřadila pevnost betonu v tlaku $f_{be,reg}$ [MPa] vycházející z regresních vztahů, doplněna o součinitele stáří a vlhkosti betonu. Přiřazené hodnoty byly dle tabulky kalibračního vztahu z ČSN 73 1373 [12].

Velké množství naměřených hodnot se nacházelo mimo rozsah kalibračního vztahu, proto byly zvoleny dva způsoby vyhodnocení. Hodnotám odrazu byla jednak přiřazena hodnota pomocí extrapolace kalibračního vztahu a jednak maximálně dosažitelná hodnota dle vztahu, nadále v textu označena jako „zastřešena“ hodnota. Pro jednotlivá zkušební místa se vypočetl průměr a určila se horní a dolní mez pro interval platnosti. Hodnoty, které do tohoto intervalu nespádaly, se z měření vyloučily a výpočet průměrné hodnoty se provedl znovu. Provedlo se porovnání výsledků zkušebních míst s výsledky pevnosti těles v tlaku dle vztahu [12]:

$$\alpha = \frac{\sum f_{bi}}{\sum f_{bei}}$$

kde f_{bi}

je pevnost v tlaku zkušebních těles v MPa,

f_{bei}

pevnost betonu v tlaku s nezaručenou přesností MPa [12].

Hodnoty pevností nosné konstrukce se upřesnily pomocí upřesňujícího součinitele pro daná místa. U římsových konzol nemůže být vyhodnocení tvrdoměrného zkoušení provedeno, neboť bylo provedeno měření pouze na dvou zkušebních místech (dva jádrové vývrty a u nich 2 místa tvrdoměrného zkoušení). Norma ČSN 73 2011 [38] požaduje minimálně tři vývrty. Výsledky pevností příčné a podélné spáry jsou s nezaručenou přesností, neboť na této části konstrukce nebyly provedeny jádrové vrty [12]. Výsledné hodnoty jsou kompletně uvedeny v Příloze 2.

5.8 Vyhodnocení charakteristické pevnosti

Pro vyhodnocení charakteristické pevnosti se vypočetly průměrné hodnoty a výběrové směrodatné odchylky. Pro nedestruktivní zkoušení byla do výpočtu směrodatné odchylky vnesena reziduální směrodatná odchylka 2,50 MPa. Římsové konzoly nebylo možno dle normy ČSN 73 0038 [39] vyhodnotit pro nedostatek vzorků. Vyhodnocení proběhlo dle vztahů [39]:

$$S_r = \sqrt{S_x^2 + S_{rez,e}^2} \quad V_x = \frac{S_x}{m_x} \quad X_k = m_x * (1 - k_{n,x} * V_x)$$

kde	X_k	je charakteristická hodnota (dolní 5 % kvantil),
	S_x	výběrová směrodatná odchylka materiálové vlastnosti,
	S_r	směrodatná odchylka materiálové vlastnosti,
	m_x	průměrná hodnota materiálové vlastnosti,
	$k_{n,x}$	součinitel pro stanovení 5 % kvantilu,
	V_x	variační koeficient materiálové vlastnosti [39].

Dle normy ČSN 73 2011 [38] se jednalo ve všech případech nedestruktivního zkoušení o rovnoměrné rozdělení. V případě výsledků pevnosti v tlaku, stanovené destruktivně na zkušebních tělesech, se beton jeví jako nerovnoměrný. Charakteristické pevnosti se stanovily ze „zastřešených“ hodnot, extrapolovaných hodnot kalibračního vztahu a pevnosti zkušebních těles.

U nosné konstrukce byly použity do výpočtu upřesněné hodnoty pevnosti v tlaku. Charakteristická pevnost byla zaříděna do pevnostní třídy C 30/37 jako nejnižší hodnota na stranu bezpečnou, viz Tab. 7.

Tab. 7: Charakteristická pevnost betonu nosné konstrukce

Extrapolace	
m_x	66,97
S_r	3,89
V_x	5,81 %
$V_{x,max}$	12,00 %
Rovnoměrný	

Zastřešení	
m_x	63,01
S_r	2,53
V_x	4,01 %
$V_{x,max}$	12,00 %
Rovnoměrný	

Zkušební tělesa	
m_x	65,30
S_x	11,86
V_x	18,16 %
$V_{x,max}$	12,00 %
Nerovnoměrný	

n	48
$k_{n,X}$	1,64
X_k	60,59
$f_{ck'}$	51,50
C 50/60	

n	48
$k_{n,X}$	1,64
X_k	58,87
$f_{ck'}$	50,04
C 45/55	

n	6
$k_{n,X}$	2,18
X_k	39,45
$f_{ck'}$	33,53
C 30/37	

U příčné spáry byly použity do výpočtu neupřesněné hodnoty pevnosti v tlaku. Proto je nutno tyto výsledky brát jen jako informativní. Charakteristická pevnost byla stanovena do pevnostní třídy C 35/45, viz Tab. 8.

Tab. 8: Charakteristická pevnost betonu příčné spáry

Extrapolace	
m_x	61,68
S_r	6,86
V_x	11,12 %
$V_{x,max}$	12,00 %
Rovnoměrný	

Zastřešení	
m_x	54,96
S_r	2,86
V_x	5,21 %
$V_{x,max}$	12,00 %
Rovnoměrný	

n	16
$k_{n,X}$	1,72
X_k	49,89
f_{ck}'	42,41
C 35/45	

n	16
$k_{n,X}$	1,72
X_k	50,03
f_{ck}'	42,53
C 35/45	

U podélné spáry byly použity do výpočtu neupřesněné hodnoty pevnosti v tlaku. Proto je nutno tyto výsledky brát jen jako informativní. Charakteristická pevnost byla stanovena do pevnostní třídy C 40/50, viz Tab. 9.

Tab. 9: Charakteristická pevnost betonu podélné spáry

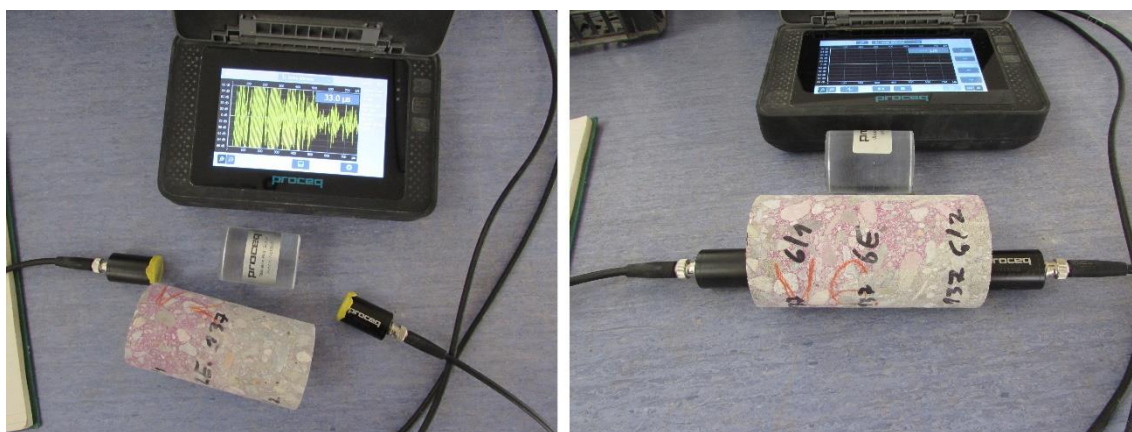
Extrapolace		Zastřešení	
m_x	62,29	m_x	55,46
S_r	4,40	S_r	2,68
V_x	7,06 %	V_x	4,84 %
$V_{x,max}$	12,00 %	$V_{x,max}$	12,00 %
Rovnoměrný		Rovnoměrný	

n	8	n	8
$k_{n,x}$	1,74	$k_{n,x}$	1,74
X_k	54,63	X_k	50,79
f_{ck}'	46,44	f_{ck}'	43,17
C 40/50		C 40/50	

5.9 Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti

Před provedením zkoušky pevnosti v tlaku, byl na tělesech stanoven dynamický modul pružnosti pomocí ultrazvukové metody. Pro tato měření byl použit přístroj Pundit PL-200 s etalonem 25,4 μ s a sondami s pracovní frekvencí 150 kHz [40], viz Obr. 39.

Před samotným měřením byla provedena kalibrace na etalonu, kdy se mrtvý čas rovnal nule. Po provedení kalibrace byla zkušební tělesa podrobena měření.



Obr. 39: Pundit PL-200 s etalonem a sondami [40] [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Průměrná doba průchodu tělesem byla stanovena ze tří hodnot. Na základě délky měřicí základny a průměrné doby průchodu ultrazvuku, byla stanovena rychlost šíření impulsu vztahem dle normy ČSN 73 1371 [17]:

$$V_l = \frac{L}{T}$$

kde V_l je rychlost impulzu v km/s,
 L délka měřicí základny v mm,
 T čas, který uplyne při průběhu impulzu měřicí základnou [17].

Následně byl stanoven součinitel trojrozměrného prostředí s konstantou 0,2 pro beton dle Poissonova čísla a dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu ze vztahů dle normy ČSN 73 1371 [17]:

$$k_3 = \sqrt{\frac{1 - \nu_{cu}}{(1 + \nu_{cu}) * (1 - 2\nu_{cu})}}$$

$$E_{cu} = \rho * V_l^2 * \frac{1}{k^2}$$

kde E_{cu} je dynamický modul pružnosti v tlaku nebo v tahu v MPa,
 ρ objemová hmotnost betonu v kg/m³
 V_l rychlost impulzu v km/s,
 k součinitel rozměrnosti,
 ν_{cu} Poissonovo číslo [17].

Průměrná hodnota dynamického modulu pružnosti byla stanovena na 42,0 GPa pro tělesa nosné konstrukce a 36,3 GPa pro těleso římsově konzoly. Naměřená data a jejich vyhodnocení, viz Tab. 10.

Tab. 10: Záznam z měření a vyhodnocení dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu

Těleso	Délka L [mm]	Doba průchodu [μs]				V_L [km/s]	D [kg/m ³]	k_3	E_{cu} [GPa]	E_{cu} [GPa]
		T_{L1}	T_{L2}	T_{L3}	T_L					
2E	149,74	33,5	32,9	33	33,1	4,52	2330	1,0541	42,85	42,0
3E	141,25	31,1	31,3	31,8	31,4	4,50	2340		42,60	
4E	149,14	33,8	32,8	32,3	33,0	4,52	2360		43,45	
6E	141,54	32,4	32,7	33,1	32,7	4,32	2330		39,20	
7E	104,89	24,2	25,3	24,8	24,8	4,24	2250		36,30	36,3

5.10 Vyhodnocení statického modulu pružnosti

Statický modul pružnosti v tlaku představuje deformační vlastnosti materiálu. Zjišťuje se z deformace, při známém zatížení na základě Hookova zákona. Pro jeho stanovení

potřebujeme minimálně 3 tělesa pro určení pevnosti v tlaku a odvození horního zatěžovacího napětí. Další 2 tělesa pro stanovení statického modulu pružnosti dle ČSN ISO 1920-10 [41].

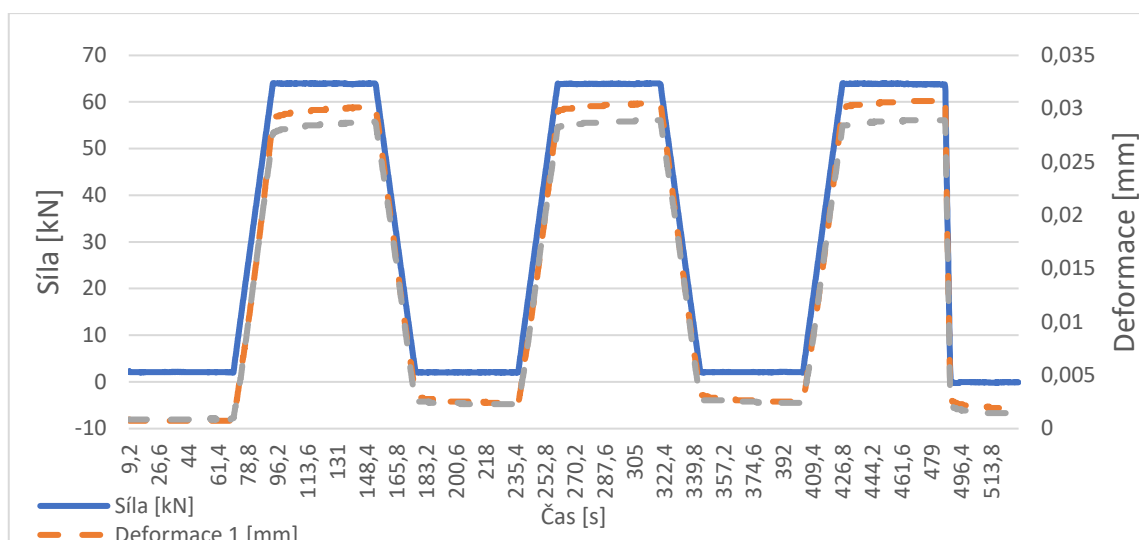
Pro záznam měření byla použita datová ústředna Spider8 [42], zatěžování probíhalo na zkušebním hydraulickém lisu DELTA 6-300 [36], pro měření deformací byly použity elektronické tenzometry LD-DD1-2 [43].

Dle rozměrů zkušební tělesa se stanoví vzdálenost zkušebních bodů (základna L_0), do těchto míst se upevní snímací rám ke zkušebnímu tělesu. Takto připravené těleso se dostředně umístí do zatěžovacího lisu, viz Obr. 40.



Obr. 40: Příprava a osazení tělesa do lisu [fotoarchiv Ing. Dalibora Kocába, Ph.D.]

Na zkušební těleso se vyvodí základní napětí o velikosti $0,5 \text{ N/mm}^2$ a po 60 s se odečtou hodnoty přetvoření. Napětí se plynule zvyšuje rychlostí $0,4 - 0,6 \text{ N/mm}^2$ do hodnoty horní zatěžovací hranice, které se udržuje 60 s, a opět se odečtou hodnoty přetvoření. Po ověření centrace se odlehčuje na základní napětí a cyklus se opakuje minimálně 2x (jedná se o tzv. předběžné cykly). Hodnoty, které vstupují do výpočtu modulu pružnosti, se odečítají ve třetím zatěžovacím cyklu, viz Obr. 41.



Obr. 41: Průběh zatěžovací síly a deformace

Statický modul pružnosti se vypočítá ze vztahu dle ČSN ISO 1920-10 [41]:

$$E_c = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\Delta\varepsilon_a - \Delta\varepsilon_b}$$

kde E_{cu} je statický modul pružnosti v tlaku v MPa,
 σ_a horní zatěžovací napětí v N/mm²,
 σ_b dolní zatěžovací napětí v N/mm²,
 $\Delta\varepsilon_a$ průměrné přetvoření při dolním zatěžovacím napětí,
 $\Delta\varepsilon_b$ průměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí [41].

Průměrná hodnota statického modulu pružnosti byla stanovena na 32,6 GPa pro tělesa nosné konstrukce a 21,3 GPa pro těleso římsové konzoly. Hodnoty statického modulu pružnosti římsové konzoly jsou jen informativní, kvůli nedostatečnému množství těles [41]. Naměřená data a jejich vyhodnocení, viz Příloha 3.

5.11 Zhodnocení mostní konstrukce

Na základě mostní prohlídky a provedených zkoušek byl zhodnocen stav konstrukce a navržen ideový návrh sanace.

5.11.1 Celkový stav objektu

Beton nosníků byl zatříděn do pevnostní třídy, a to na základě charakteristické pevnosti stanovené dle normy ČSN 73 0038 [39]. Betony příčných a podélných spár byl také zatříděn do pevnostní třídy, toto zatřídění je však pouze informativní, neboť je provedeno dle normy ČSN 73 2011 [38] na základě tvrdoměrného měření bez upřesnění. Pro každou část konstrukce byla stanovena rovnoměrnost betonu dle normy ČSN 73 2011 [38]. Celkové zatřídění mostu bylo provedeno dle normy ČSN 73 6221 [5].

Založení a spodní stavba nebyly v rámci zakázky diagnostikovány. Při jejich prohlídce nebyly zjištěny závažnější vady či poruchy konstrukce. Spodní stavba, především úložné prahy mají na několika místech viditelné odpadlé kusy omítky. Stav konstrukce byl klasifikován stupněm III – dobrý, součinitel stavu konstrukce 1,0.

Při prohlídce nosné konstrukce nebyly zjištěny závažnější vady či poruchy konstrukce. Dle posouzení z vývrtů je beton nerovnoměrný s charakteristickou pevností 33,5 MPa. Beton byl zatříděn do pevnostní třídy C 30/37. Při posouzení dle nedestruktivních metod byla charakteristická pevnost 50 MPa a pevnostní třída C 45/55. Příčné spáry byly zatříděny do pevnostní třídy C 35/45 a podélné spáry do pevnostní třídy C 40/50 dle neupřesněných hodnot. Stav konstrukce byl klasifikován stupněm II - velmi dobrý, součinitel stavu konstrukce 1,0.

Římsové konzoly jsou ve špatném stavu. Konstrukce je poškozena velkým počtem trhlin, lokálně odpadlými kusy omítky a betonu. Průměrná pevnost betonu je stanovena na hodnotu 29,8 MPa. Dle použitelnosti může být předmětný most hodnocen klasifikačním stupněm 1 – použitelný.

5.11.2 Ideový návrh sanace

Sanace **spodní stavby** budou menšího rázu. **Úložné prahy** se lokálně, v místech poruch, opatří vrstvou ze sanační omítky. Před provedením se povrch očistí a provedou se odtrhové zkoušky pro posouzení povrchové přídržnosti. Vyčistí se napadané nečistoty na úložné prahy. Na pravé opěře se odstraní náletová dřevina. **Mostní ložiska** se otryskají a následně se ošetří konzervací.

Největším zásahem v rámci sanací je, ubourání stávajících **řím**s a vybudování nových řím.s. V rámci přestavby řím.s se staré zábradlí odstraní, i když nejeví výrazné známky poškození. Na řím.sy se osadí nové zábradlí, které bude odpovídat konstrukčnímu provedení řím.s.

ZÁVĚR

Tato práce řeší problematiku z oblasti diagnostiky mostních konstrukcí. V teoretické části jsou na základě rešerše platných norem, doporučené literatury a dalších podkladů podrobně popsány mostní názvosloví, evidence mostů, mostní prohlídka, diagnostický průzkum konstrukcí a vybrané metody vhodné k zadané konstrukci.

Hlavním cílem praktické části bylo provést stavební průzkum jednopolevého železničního mostu přes komunikaci I/55 ve městě Staré Město. Železobetonový most je zevrubně popsán a zdokumentován v části práce, která se zabývá mostní prohlídkou. Obsahem této kapitoly je popis stávající konstrukce a záznam o nalezených vadách či poruchách. V rámci prohlídky byla provedena fotodokumentace jednotlivých částí konstrukce. Fotodokumentace byla použita k lepší představě o konstrukci mostu a nalezených vadách.

Dalším cílem bakalářské práce bylo stanovit základní mechanické vlastnosti betonu vybraných částí mostu. Na mostní konstrukci bylo provedeno nedestruktivní měření pomocí tvrdoměru Schmidt N, dále zkoušky hloubky karbonatace, ověření kvality a zainjektování předpínací výztuže a také odběr jádrových vývrtů. V laboratoři byly provedeny zkoušky betonů jádrových vývrtů. Byly určeny hodnoty statického a dynamického modulu pružnosti, objemové hmotnosti a pevnosti betonu v tlaku.

Na základě vyhodnocení provedených zkoušek byl beton nosné konstrukce zatříděn do pevnostní třídy C 30/37. Příčné spáry byly informativně zatříděny do pevnostní třídy C 35/45 a podélné spáry do pevnostní třídy C 40/50 dle neupřesněných výsledků tvrdoměrné metody. Na základě mostní prohlídky a provedených zkoušek byla mostní konstrukce zatříděna do příslušných klasifikačních tříd. Závěrem lze konstatovat, že s výjimkou říms se most nachází ve velmi dobrém stavu. Jako nezbytná se jeví pouze sanace říms, přesto byl sestaven komplexní ideový návrh sanací.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Beton a betonové stavby v průběhu století (2. část). *TZB-info* [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/16307-beton-a-betonove-stavby-v-prubehu-stoleti-2-cast>
- [2] ČSN 73 6200: *Mosty - Terminologie a třídění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.. Třídící znak 736200.
- [3] STRÁNSKÝ, Jiří a Radim NEČAS. *Betonové mosty I: Modul M01 - Základní principy navrhování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [4] ČSN 73 6220: *Evidence mostních objektů pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 32 s.. Třídící znak 736220.
- [5] ČSN 73 6221: *Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 64 s.. Třídící znak 736221.
- [6] PONTEX SPOL S R.O. *TP 72: Diagnostický průzkum mostů PK*. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky odbor infrastruktury, 2008.
- [7] BILČÍK, Juraj a Jiří DOHNÁLEK. *Sanace betonových konstrukcí*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 8088905249.
- [8] KAPLAN, Věroslav a Světlana UVAROVA. *STANOVENÍ RIZIK PRO VYBRANÉ PRVKY DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY* [online]. , 8 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: http://fbiw.uniza.sk/rks/2014/articles/Kaplan_Uvarova.pdf
- [9] ČSN EN 13791: *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 44 s.. Třídící znak 731303.
- [10] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005, 124 s.
- [11] CIKRLE, Petr a kolektiv. *NDT zkoušení ve stavebnictví: Příručka kurzu ČŽV*. Brno: Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, VUT, 2010, 133 s. ISBN 978-80-214-4198-9.
- [12] ČSN 73 1373: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 20 s.. Třídící znak 731373.
- [13] SCHMID, Pavel. *Základy zkušebnictví*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1816-8.
- [14] ČSN EN 12504-2: *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 12 s.. Třídící znak 731303.
- [15] Originální Schmidtova kladívka Proceq. In: *PROINEX INSTRUMENTS* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/107-originalni-schmidtova-kladivka-proceq.html>

- [16] STANISLAV, Štěpán. Využití ultrazvukové metody při diagnostice betonových konstrukcí. 2012, 47 s. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58262. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. PETR CIKRLÉ, Ph.D.
- [17] ČSN 73 1371: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 12 s.. Třídící znak 731371.
- [18] ČSN EN 12504-1: *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 16 s.. Třídící znak 731303.
- [19] Jádrové vrtání. In: *Luža - Láníček* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://luza-lanicek.cz/jadrove-vrtani/>
- [20] ADÁMEK, Jiří. *Vlastnosti a zkoušení stavebních materiálů*. Brno: CERM, 1995. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0609-7.
- [21] ANTON, Ondřej. *Základy zkušebnictví: návody do cvičení*. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021420790.
- [22] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 24 s.. Řídící znak 731302.
- [23] Schéma zkoušky krychelné pevnosti betonu v tlaku. In: *Vodohospodářská zařízení I* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <http://hg10.vsb.cz/546/VH21/vyuka/hmoty/vlastnosti.html>
- [24] Systém PS 1000 X-Scan. *Hilti* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r6436760?itemCode=2223494#nav%2Fclose
- [25] ANTON, Ondřej a Věra HĚRMÁNKOVÁ. Průkazné stanovení vyztužení železobetonové konstrukce a vhodné NDT metody. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/16245-prukazne-stanoveni-vyztuzeni-zelezobetonove-konstrukce-a-vhodne-ndt-metody>
- [26] Jízdní řád. *Správa železnic* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/cestujici/jizdni-rad>
- [27] Turistická: poloha mostu. *Mapy.cz* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?x=17.4306421&y=49.0702992&z=14&l=0>
- [28] VARS BRNO: *Systém hospodaření s mosty (BMS)* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <http://bms.clevera.cz/>

- [29] Schmidt® rebound hammers for concrete strength and rock testing: Original Schmidt Type N. *Proceq* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.proceq.com/compare/schmidt-hammers/>
- [30] ABSOLUTE Digimatic Posuvná měřítka. *Shop.mitutoyo.cz* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/Absolute%20Digimatic%20Caliper/ABSOLUTE%20Digimatic%20Posuvn%C3%A1%20m%C4%B5%99%C3%ADtka/index.xhtmll
- [31] FKB: FKB 6K0.02. *Kern & Sohn* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.kern-sohn.com/en/FKB>
- [32] ČSN EN 12390-1: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 12 s.. Třídící znak 731302.
- [33] ČSN EN 12390-7: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 16 s.. Třídící znak 731302.
- [34] ČSN EN 206 +A1: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018, 88 s.. Třídící znak 732403.
- [35] ČSN EN 12390-4: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 4: Pevnost v tlaku - Požadavky na zkušební lisy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001, 20 s.. Třídící znak 731302.
- [36] Bending Testing Machine DELTA 6-300. *FORM+TEST* [online]. 2004 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.formtest.de/en/Products/Machines/DELTA-6-300.php>
- [37] *Kögel Werkstoff- und Materialprüfsysteme* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.werkstoffpruefmaschinen-leipzig.de/>. Zkušební zatěžovací lis ZD 40.
- [38] ČSN 73 2011: Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 24 s.. Třídící znak 732011.
- [39] ČSN 73 0038: Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 56 s.. Třídící znak 730038.
- [40] Pundit® ultrasonic pulse velocity and pulse echo tomography: Pundit PL-200. *Proceq* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.proceq.com/compare/pundit-ultrasonic-pulse-velocity-and-pulse-echo-testing/>
- [41] ČSN ISO 1920-10: Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 12 s.. Třídící znak 731319.
- [42] *HBM* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.hbm.cz/>. Datová ústředna Spider8.

- [43] Electronic Strain Transducer LD-DD1-2. *FORM+TEST* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.formtest.de/en/Products/Testers/LD-DD1-2.php>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ŘSD	Ředitelství Silnic A Dálnic ČR
BMS	Bridge Management System
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
d	průměr vzorku [mm]
L	délka vzorku [mm]
m	hmotnost vzorku [g]
V	objem vzorku [m ³]
D, ρ	objemová hmotnost [kg/m ³]
A_c	průřezová plocha tělesa [mm ²]
$f_{be,reg}$	pevnost v tlaku tvrdoměrné zkoušky dle regresních vztahů [MPa]
F_c	maximální zatížení na těleso [kN]
$K_{c,cyl}$	součinitel štíhlosti tělesa
$K_{c,cube}$	součinitel příčného rozměru tělesa
$F_{c,cyl}$	válcová pevnost tělesa v tlaku [MPa]
$K_{cyl,cube}$	součinitel pro přepočet válcové pevnosti na krychelnou
$F_{c,cube}$	krychlená pevnost tělesa v tlaku [MPa]
α_t	součinitel stáří betonu
α_w	součinitel vlhkosti betonu
α	upřesňující součinitel
X_k	charakteristická hodnota (dolní 5 % kvantil),
s_x	směrodatná odchylka materiálové vlastnosti
m_x	průměrná hodnota materiálové vlastnosti
$k_{n,x}$	součinitel pro stanovení 5 % kvantilu
V_x	variační koeficient materiálové vlastnosti
E_{cu}	je dynamický modul pružnosti v tlaku nebo v tahu [MPa]
V_l	rychlost impulzu [km/s]
k	součinitel rozměrnosti
ν_{cu}	Poissonova konstanta

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1: Postup prací při hodnocení stavu konstrukce zpracován na základě	23
Obr. 2: Schéma vnějších činitelů pro vznik vad a poruch zpracováno na základě	24
Obr. 3: Schéma vnějších činitelů pro vznik vad a poruch zpracováno na základě	25
Obr. 4: Schéma pro konstrukční činitele pro vznik vad a poruch zpracováno na základě	25
Obr. 5: Odrazový tvrdoměr Schmidt	27
Obr. 6: Vliv kvality, případně vyztužení betonu na rychlosti šíření a tvar impulsu ultrazvukového vlnění [16].	27
Obr. 7: Možné polohy sond při prozvučování	28
Obr. 8: Jádrové vrtání	29
Obr. 9: Zkouška krychelné pevnosti betonu v tlaku	30
Obr. 10: Karbonatace betonu	31
Obr. 11: Obec Staré Město a Uherské Hradiště s vyznačenou polohou objektu.....	32
Obr. 12: Pohled na most z pravé (uherskohradištské) strany.....	33
Obr. 13: Vlevo pohled na mostní opěru, vpravo pohled na mostní křídlo	34
Obr. 14: Vlevo pohled na boční stranu nosníku, vpravo pohled ze spodu nosníků	34
Obr. 15: Pohled na pevné ložisko	35
Obr. 16: Vlevo pohled ze spodu na římsu, vpravo pohled na římsu se zábradlím	35
Obr. 17: Nivelační značka	36
Obr. 18: Průsaky vody skrze vodorovnou spáru.....	36
Obr. 19: Lokálně odpadlá omítka	37
Obr. 20: Poruchy říms	37
Obr. 21: Pohled na detail zábradlí	38
Obr. 22: Vývrt č. V1 z nosné konstrukce	39
Obr. 23: Vývrt č. V2 z nosné konstrukce	39
Obr. 24: Vývrt č. V3 z nosné konstrukce	40
Obr. 25: Vývrt č. V4 z nosné konstrukce	40
Obr. 26: Vývrt č. V5 z nosné konstrukce	41
Obr. 27: Vývrt č. V6 z nosné konstrukce	41
Obr. 28: Vývrt č. V7 z římsové konzoly	42
Obr. 29: Vývrt č. V8 z římsové konzoly	42
Obr. 30: Schmidtovo kladívko typu N.....	43
Obr. 31: Upravené zkušební místo testováno pomocí Schmidtova kladívka	43
Obr. 32: Zkušební místa pro testování hloubky karbonatace	44
Obr. 33: Odběr vzorků pro stanovení obsahu chloridů	45
Obr. 34: Vrtaná sonda hlavní nosné výztuže.....	45
Obr. 35: Vlevo posuvné měřítko Mitutoyo , vpravo digitální váha KERN	46
Obr. 36: Úprava těles	48
Obr. 37: Vlevo zkušební hydraulický lis DELTA 6-300, vpravo zkušební zatěžovací lis ZD 40	48
Obr. 38: Tvar porušení tělesa	49
Obr. 39: Pundit PL-200 s etalonem a sondami	53
Obr. 40: Příprava a osazení tělesa do lisu	55
Obr. 41: Průběh zatěžovací síly a deformace.....	56
Obr. 42: Pohled na opěru	66
Obr. 43: Plošina HA16PX použita k průzkumu	66
Obr. 44: Pohled na ložiska	66
Obr. 45: Pevné ložisko.....	66
Obr. 46: Pohled na zakončení římsy.....	66
Obr. 47: Zkušební místo tvrdoměru.....	66
Obr. 48: Náletová dřevina na pravé opěře	67
Obr. 49: Místo po odběru jádrového vývrtu.....	67
Obr. 50: Převáděná železniční dráha	67
Obr. 51: Místo odběru jádrového vývrtu V1	67
Obr. 52: Sonda výztuže s aplikovaným roztokem fenolftaleinu	67
Obr. 53: Sonda k hlavní nosné výztuži	67
Obr. 54: Zkoušené těleso v tlaku	68

Obr. 59: Porušená povrchová vrstva	68
Obr. 55: Porušení zkušební tělesa	68
Obr. 56: Pundit PL-200 s etalonem a sondami	68
Obr. 57: Délková úprava vzorků	68
Obr. 58: Vývrt V4 obsahující výztuž	68
Obr. 60: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E2	75
Obr. 61: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E3	75
Obr. 62: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E4	76
Obr. 63: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E6	76
Obr. 64: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E7	77

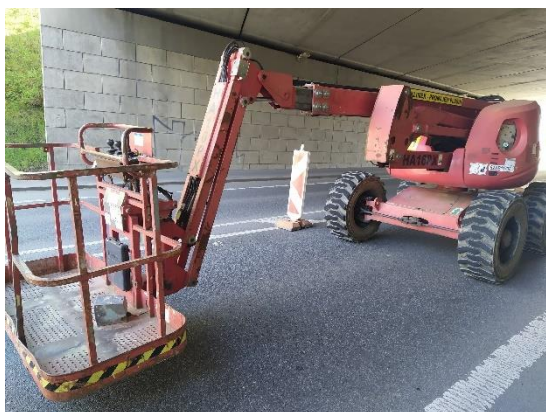
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1: Klasifikační stupně stavu mostů	18
Tab. 2: Klasifikační tabulka pro intervaly hlavních mostních prohlídek	20
Tab. 3: Výsledky zkoušek karbonatice betonu	44
Tab. 4: Záznam z měření a vyhodnocení objemové hmotnosti vzorků pro statický modul pružnosti ..	47
Tab. 5: Záznam z měření a vyhodnocení objemové hmotnosti vzorků pro pevnost v tlaku	47
Tab. 6: Vyhodnocení zkoušky pevnosti v tlaku na vývrtech	50
Tab. 7: Charakteristická pevnost betonu nosné konstrukce	52
Tab. 8: Charakteristická pevnost betonu příčné spáry	52
Tab. 9: Charakteristická pevnost betonu podélné spáry	53
Tab. 10: Záznam z měření a vyhodnocení dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu	54
Tab. 11: Naměřené hodnoty tvrdoměrem	69
Tab. 12: Extrapolované hodnoty pevnosti	70
Tab. 13: Zastřežené hodnoty pevnosti	72
Tab. 14: Hodnoty pro zkušební těleso E2	75
Tab. 15: Hodnoty pro zkušební těleso E3	75
Tab. 16: Hodnoty pro zkušební těleso E4	76
Tab. 17: Hodnoty pro zkušební těleso E6	76
Tab. 18: Hodnoty pro zkušební těleso E7	77

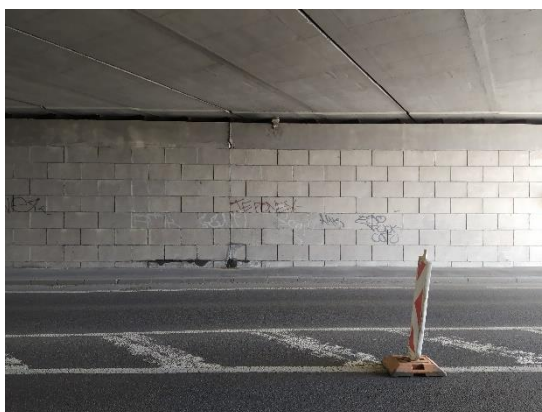
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: Fotodokumentace	66
PŘÍLOHA 2: Záznam a vyhodnocení tvrdoměrné zkoušky	68
PŘÍLOHA 2: Záznam a vyhodnocení statického modulu pružnosti	75

PŘÍLOHA 1: Fotodokumentace



Obr. 43: Plošina HA16PX použita k průzkumu



Obr. 42: Pohled na opěru



Obr. 45: Pevné ložisko



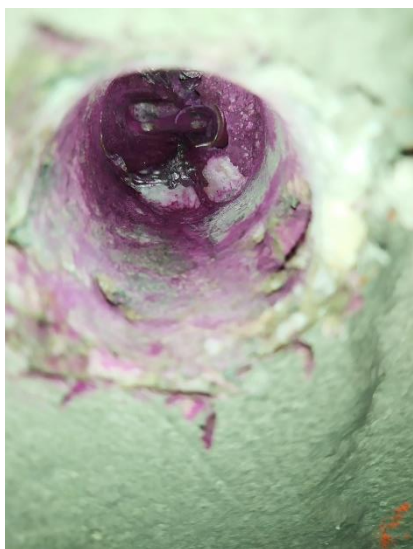
Obr. 44: Pohled na ložiska



Obr. 47: Zkušební místo tvrdoměru



Obr. 46: Pohled na zakončení římsy



Obr. 52: Sonda výztuže s aplikovaným roztokem fenolftaleinu



Obr. 53: Sonda k hlavní nosné výztuži



Obr. 51: Místo odběru jádrového vývrtnu V1



Obr. 50: Převáděná železniční dráha



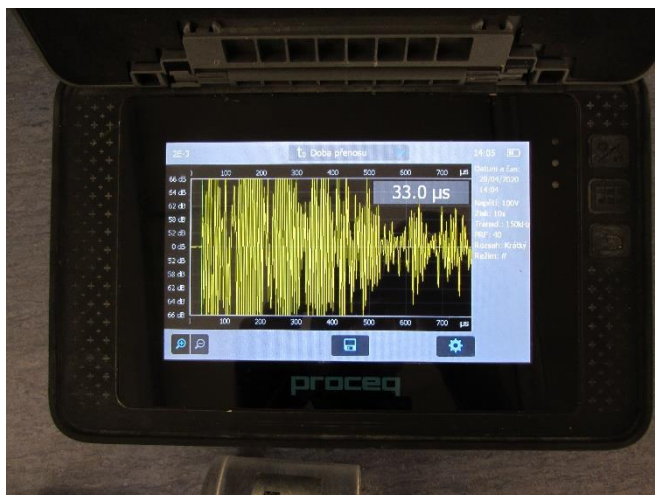
Obr. 49: Místo po odběru jádrového vývrtnu



Obr. 48: Náletová dřevina na pravé opěře



Obr. 59: Porušená povrchová vrstva



Obr. 56: Pundit PL-200 během měření



Obr. 58: Vývrt V4 obsahující výztuž



Obr. 57: Délková úprava vzorků



Obr. 54: Zkoušené těleso v tlaku



Obr. 55: Porušení zkušebního tělesa

PŘÍLOHA 2: Záznam a vyhodnocení tvrdoměrné zkoušky

Tab. 11: Naměřené hodnoty tvrdoměrem

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	Měření											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Podélné spáry		90	1	59	60	60	60	60	58	57	60	59	59	60	60
		90	2	52	53	56	57	58	67	68	50	53	52	45	58
		90	3	61	65	58	64	66	61	67	57	61	61	62	61
		90	4	60	60	60	59	63	58	64	60	60	58	57	60
		90	5	61	52	59	61	60	61	60	60	62	61	60	63
		90	6	56	60	60	58	61	50	61	62	60	59	56	58
		45	7	60	57	61	58	58	61	56	57	58	58	64	57
		90	8	56	58	60	60	61	57	56	63	60	60	62	60
Příčné spáry		90	9	61	56	57	58	55	57	60	60	58	51	55	56
		90	10	50	52	50	50	60	51	53	50	55	52	50	58
		90	11	60	60	54	53	50	58	56	45	54	55	58	60
		90	12	62	64	60	64	60	64	52	53	64	63	62	55
		90	13	62	60	64	64	62	69	63	63	62	62	69	62
		90	14	52	54	60	59	53	68	59	60	60	55	55	65
		90	15	54	53	58	64	56	58	60	53	58	55	52	54
		90	16	66	65	69	66	70	62	68	64	70	66	64	67
		90	17	58	58	62	57	59	58	57	59	59	61	61	61
		90	18	56	58	58	58	62	60	59	59	58	56	59	61
		90	19	52	54	52	52	55	66	62	58	53	65	59	55
		90	20	55	58	60	57	58	59	54	64	60	57	58	59
		90	21	58	57	55	56	54	60	60	52	56	59	54	54
		90	22	68	59	58	56	58	64	64	58	56	61	56	62
		90	23	61	62	60	68	60	64	58	60	62	60	63	64
		90	24	66	68	65	63	60	62	58	61	66	65	62	60
Nosná konstrukce	V1	0	25	58	58	59	60	55	58	61	55	62	60	58	62
	V2	0	26	58	60	58	57	58	55	60	59	56	61	62	58
	V3	0	27	63	61	60	61	65	63	65	61	61	62	61	58
		90	28	64	64	66	63	62	63	68	62	67	67	66	62
		90	29	68	65	60	66	62	70	60	65	65	63	60	63
		90	30	65	64	66	62	66	70	63	61	66	68	62	62
		90	31	64	63	60	63	62	60	61	61	62	60	63	62
		90	32	70	66	64	64	67	64	64	64	64	64	63	62
		90	33	70	61	63	64	67	70	61	61	56	56	64	70
		90	34	58	60	64	60	62	61	61	62	65	62	60	64
		90	35	62	58	60	62	64	70	61	65	60	62	62	62
		90	36	64	62	60	64	62	64	64	63	63	62	64	64
		90	37	61	57	67	62	62	60	60	64	63	66	60	63
		90	38	60	61	63	60	56	60	59	63	61	61	60	60
		90	39	61	58	67	60	52	57	61	62	67	59	61	63
		90	40	58	59	59	60	60	61	58	61	62	56	63	64

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	Měření											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		90	41	58	60	63	60	60	61	62	60	62	63	60	59
		90	42	59	59	58	58	62	64	63	62	57	68	64	64
		90	43	62	60	58	60	62	62	60	58	60	64	60	60
		90	44	60	63	54	58	53	55	58	60	56	58	60	60
		90	45	61	63	63	63	66	65	65	61	65	61	61	63
		90	46	60	58	60	59	60	60	62	60	62	60	62	61
		90	47	58	60	63	63	59	64	62	60	62	64	60	60
		90	48	57	72	54	61	60	61	62	68	64	64	60	65
		90	49	65	60	66	59	62	62	61	59	60	62	60	62
		90	50	65	61	67	63	68	62	60	58	65	55	58	64
		90	51	64	63	61	60	61	62	61	63	57	63	62	63
		90	52	62	59	62	64	60	59	60	61	61	63	59	61
		90	53	64	62	67	61	61	62	68	63	62	62	61	59
		90	54	64	65	60	65	63	68	60	65	64	63	64	61
		90	55	56	64	60	59	63	58	59	60	61	61	58	59
		90	56	66	60	61	64	64	64	62	60	60	63	65	64
		90	57	67	63	65	55	65	64	63	62	63	60	62	60
		90	58	59	60	60	58	57	61	56	63	60	61	68	63
		90	59	58	59	59	63	63	60	63	61	64	62	62	62
		90	60	60	66	66	60	66	64	65	65	69	70	69	70
		90	61	56	62	63	63	60	59	60	61	56	61	60	61
		90	62	59	60	59	59	58	66	61	59	62	60	60	59
		90	63	63	61	68	61	61	60	65	62	66	61	66	66
		90	64	69	60	60	59	62	63	60	58	60	58	61	62
		90	65	61	59	61	62	59	59	64	64	62	60	57	66
		90	66	67	65	60	66	66	65	68	68	65	64	65	67
		90	67	63	60	66	64	64	65	60	61	60	65	66	67
		90	68	59	60	57	59	63	62	58	58	56	67	56	55
	V6	0	69	61	54	59	60	58	56	60	57	54	59	55	58
		90	70	63	62	64	60	62	62	65	64	62	62	62	64
	V4	0	71	58	62	60	58	61	60	64	58	58	64	58	60
	V5	0	72	55	56	65	58	64	58	55	58	56	55	63	64
Římsové konzoly	V7	45	73	54	52	52	49	55	56	48	49	53	52	55	53
	V8	45	74	42	39	44	38	44	44	41	36	37	40	42	42

Tab. 12: Extrapolované hodnoty pevnosti

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,reg} [MPa]												f _{be,reg} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Podélné spáry		90	1	62	63	63	63	63	60	58	63	62	62	63	63	62,2	
		90	2	50	52	57	58	60	75	76	47	52	50	39	60	54,1	
		90	3	65	71	60	70	73	65	75	58	65	65	67	65	66,5	

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,reg} [MPa]												f _{be,reg} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		90	4	63	63	63	62	68	60	70	63	63	60	58	63	63,1	
		90	5	65	50	62	65	63	65	63	63	67	65	63	68	64,4	
		90	6	57	63	63	60	65	47	65	67	63	62	57	60	61,9	
		45	7	66	61	67	62	62	67	59	61	62	62	72	61	63,6	
		90	8	57	60	63	63	65	58	57	68	63	63	67	63	62,3	
Příčné spáry		90	9	65	57	58	60	56	58	63	63	60	49	56	57	58,5	
		90	10	47	50	47	47	63	49	52	47	56	50	47	60	50,1	
		90	11	63	63	54	52	47	60	57	39	54	56	60	63	57,2	
		90	12	67	70	63	70	63	70	50	52	70	68	67	56	65,0	
		90	13	67	63	70	70	67	78	68	68	67	67	78	67	69,0	
		90	14	50	54	63	62	52	76	62	63	63	56	56	71	59,3	
		90	15	54	52	60	70	57	60	63	52	60	56	50	54	56,2	
		90	16	73	71	78	73	80	67	76	70	80	73	70	75	73,7	
		90	17	60	60	67	58	62	60	58	62	62	65	65	65	61,9	
		90	18	57	60	60	60	67	63	62	62	60	57	62	65	61,1	
		90	19	50	54	50	50	56	73	67	60	52	71	62	56	55,7	
		90	20	56	60	63	58	60	62	54	70	63	58	60	62	60,5	
		90	21	60	58	56	57	54	63	63	50	57	62	54	54	57,4	
		90	22	76	62	60	57	60	70	70	60	57	65	57	67	62,1	
		90	23	65	67	63	76	63	70	60	63	67	63	68	70	66,2	
		90	24	78	81	76	73	68	71	65	70	78	76	71	68	73,0	
Nosná konstrukce	V1	0	25	65	65	67	68	60	65	70	60	71	68	65	71	66,5	67,0
	V2	0	26	65	68	65	64	65	60	68	67	62	70	71	65	65,9	66,5
	V3	0	27	68	65	63	65	71	68	71	65	65	67	65	60	66,1	66,6
		90	28	70	70	73	68	67	68	76	67	75	75	73	67	70,6	71,1
		90	29	76	71	63	73	67	80	63	71	71	68	63	68	69,6	70,2
		90	30	71	70	73	67	73	80	68	65	73	76	67	67	70,7	71,3
		90	31	70	68	63	68	67	63	65	65	67	63	68	67	66,1	66,6
		90	32	80	73	70	70	75	70	70	70	70	70	68	67	70,9	71,4
		90	33	80	65	68	70	75	80	65	65	57	57	70	80	69,1	69,6
		90	34	60	63	70	63	67	65	65	67	71	67	63	70	65,8	66,4
		90	35	67	60	63	67	70	80	65	71	63	67	67	67	67,1	67,6
		90	36	70	67	63	70	67	70	70	68	68	67	70	70	68,1	68,7
		90	37	65	58	75	67	67	63	63	70	68	73	63	68	66,7	67,2
		90	38	63	65	68	63	57	63	62	68	65	65	63	63	63,8	64,3
		90	39	65	60	75	63	50	58	65	67	75	62	65	68	65,6	66,2
		90	40	60	62	62	63	63	65	60	65	67	57	68	70	63,4	63,9
		90	41	60	63	68	63	63	65	67	63	67	68	63	62	64,3	64,9
		90	42	62	62	60	60	67	70	68	67	58	76	70	70	65,7	66,2
		90	43	67	63	60	63	67	67	63	60	63	70	63	63	64,1	64,6

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,reg} [MPa]												f _{be,reg} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		90	44	63	68	54	60	52	56	60	63	57	60	63	63	60,0	60,5
		90	45	65	68	68	68	73	71	71	65	71	65	65	68	68,3	68,8
		90	46	63	60	63	62	63	63	67	63	67	63	67	65	63,8	64,3
		90	47	60	63	68	68	62	70	67	63	67	70	63	63	65,3	65,8
		90	48	58	80	54	65	63	65	67	76	70	70	63	71	66,8	67,4
		90	49	71	63	73	62	67	67	65	62	63	67	63	67	65,7	66,2
		90	50	71	65	75	68	76	67	63	60	71	56	60	70	66,8	67,4
		90	51	70	68	65	63	65	67	65	68	58	68	67	68	66,0	66,5
		90	52	67	62	67	70	63	62	63	65	65	68	62	65	64,8	65,3
		90	53	70	67	75	65	65	67	76	68	67	67	65	62	67,6	68,1
		90	54	70	71	63	71	68	76	63	71	70	68	70	65	69,0	69,5
		90	55	57	70	63	62	68	60	62	63	65	65	60	62	63,0	63,5
		90	56	73	63	65	70	70	70	67	63	63	68	71	70	67,7	68,3
		90	57	75	68	71	56	71	70	68	67	68	63	67	63	67,3	67,8
		90	58	62	63	63	60	58	65	57	68	63	65	76	68	64,1	64,6
		90	59	60	62	62	68	68	63	68	65	70	67	67	67	65,4	66,0
		90	60	63	73	73	63	73	70	71	71	78	80	78	80	72,8	73,3
		90	61	57	67	68	68	63	62	63	65	57	65	63	65	63,5	64,0
		90	62	62	63	62	62	60	73	65	62	67	63	63	62	63,5	64,0
		90	63	68	65	76	65	65	63	71	67	73	65	73	73	68,7	69,2
		90	64	78	63	63	62	67	68	63	60	63	60	65	67	63,7	64,2
		90	65	65	62	65	67	62	62	70	70	67	63	58	73	65,2	65,7
		90	66	75	71	63	73	73	71	76	76	71	70	71	75	72,2	72,8
		90	67	68	63	73	70	70	71	63	65	63	71	73	75	68,8	69,4
		90	68	67	68	64	67	73	71	65	65	62	79	62	60	67,0	67,5
	V6	0	69	65	54	62	63	60	57	63	58	54	62	56	60	59,5	59,9
		90	70	73	71	75	68	71	71	76	75	71	71	71	75	72,5	73,0
	V4	0	71	65	71	68	65	70	68	75	65	65	75	65	68	68,4	69,0
	V5	0	72	56	57	71	60	70	60	56	60	57	56	68	70	61,7	62,2
Římsové konzoly	V7	45	73	57	53	53	48	57	59	46	48	55	53	57	55	53,4	29,3
	V8	45	74	36	31	39	29	39	39	34	25	27	32	36	36	34,3	30,3

Tab. 13: Zastřežené hodnoty pevnosti

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,max} [MPa]												f _{be,max} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Podélné spáry		90	1	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	2	50	52	56	56	56	56	56	47	52	50	39	56	53,3	
		90	3	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	4	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	5	56	50	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,4	

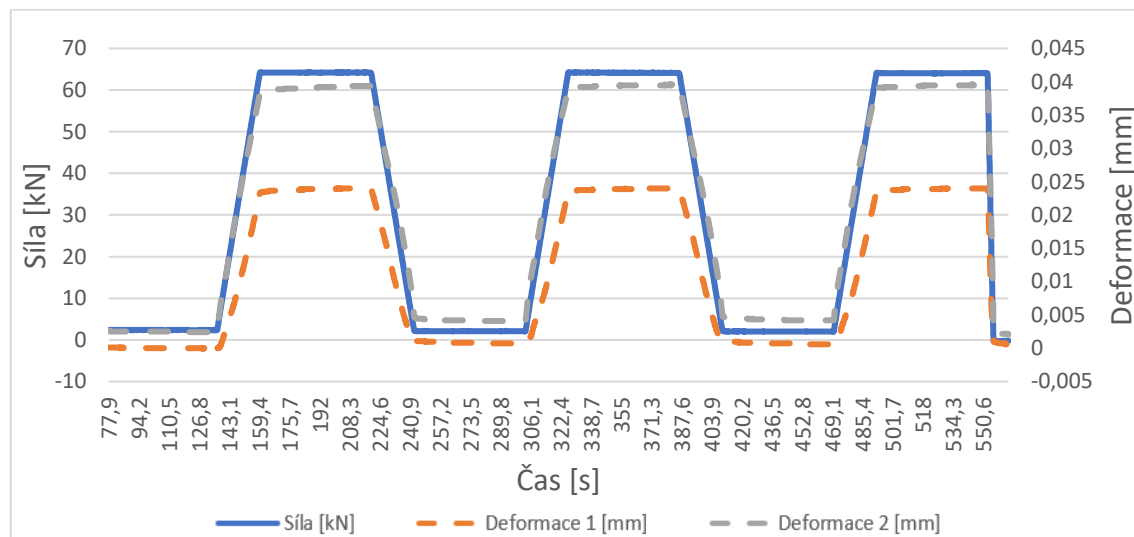
Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,max} [MPa]												f _{be,max} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		90	6	56	56	56	56	56	47	56	56	56	56	56	56	55,1	
		45	7	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	
		90	8	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
Příčné spáry		90	9	56	56	56	56	56	56	56	56	56	49	56	56	55,2	
		90	10	47	50	47	47	56	49	52	47	56	50	47	56	50,3	
		90	11	56	56	54	52	47	56	56	49	54	56	56	56	54,3	
		90	12	56	56	56	56	56	56	50	52	56	56	56	56	55,1	
		90	13	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	14	50	54	56	56	52	56	56	56	56	56	56	56	54,9	
		90	15	54	52	56	56	56	56	56	52	56	56	50	54	54,5	
		90	16	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	17	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	18	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	19	50	54	50	50	56	56	56	56	52	56	56	56	54,0	
		90	20	56	56	56	56	56	56	54	56	56	56	56	56	55,7	
		90	21	56	56	56	56	54	56	56	50	56	56	54	54	54,9	
		90	22	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	23	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
		90	24	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	
Nosná konstrukce	V1	0	25	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
	V2	0	26	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
	V3	0	27	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
		90	28	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	29	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	30	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	31	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	32	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	33	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	34	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	35	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	36	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	37	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	38	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	39	56	56	56	56	50	56	56	56	56	56	56	56	55,4	62,4
		90	40	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	41	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	42	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	43	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	44	56	56	54	56	52	56	56	56	56	56	56	56	55,4	62,4
		90	45	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	46	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9

Místo	Char. bod	Směr	Číslo bodu	f _{be,max} [MPa]												f _{be,max} [MPa]	Upřesněné f _{be,reg} [MPa]
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		90	47	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	48	56	56	54	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,7	62,7
		90	49	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	50	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	51	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	52	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	53	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	54	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	55	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	57	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	58	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	59	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	60	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	61	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	62	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	63	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	64	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	65	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	66	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	67	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
		90	68	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
	V6	0	69	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
		90	70	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	55,8	62,9
	V4	0	71	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
	V5	0	72	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56,7	63,9
Římsové konzoly	V7	45	73	57	53	53	48	57	57	46	48	55	53	57	55	53,1	32,4
	V8	45	74	36	31	39	29	39	39	34	25	27	32	36	36	34,3	30,3

PŘÍLOHA 2: Záznam a vyhodnocení statického modulu pružnosti

Tab. 14: Hodnoty pro zkušební těleso E2

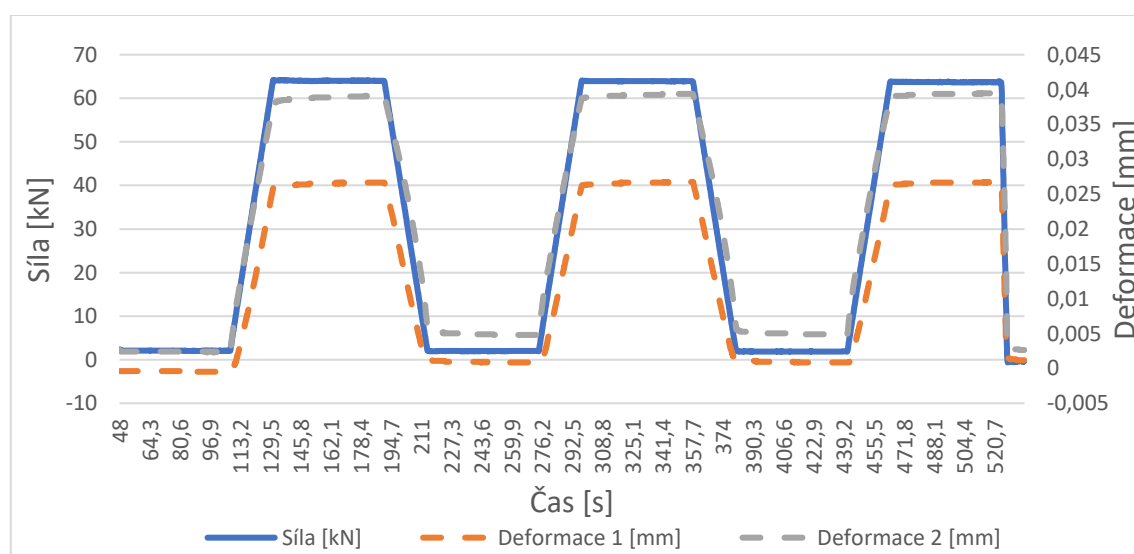
Cyklus	L0 [mm]	σ_b [MPa]	σ_a [MPa]	ϵ_{b1} [mm]	ϵ_{b2} [mm]	ϵ_b [mm]	ϵ_{a1} [mm]	ϵ_{a2} [mm]	ϵ_a [mm]	E_c [GPa]	E_c [GPa]
2	70	0,49	14,93	1,03E-05	5,83E-05	3,43E-05	3,43E-04	5,65E-04	4,54E-04	34,4	34,4
3		0,47	14,92	8,57E-06	6,00E-05	3,43E-05	3,43E-04	5,66E-04	4,54E-04	34,4	



Obr. 60: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E2

Tab. 15: Hodnoty pro zkušební těleso E3

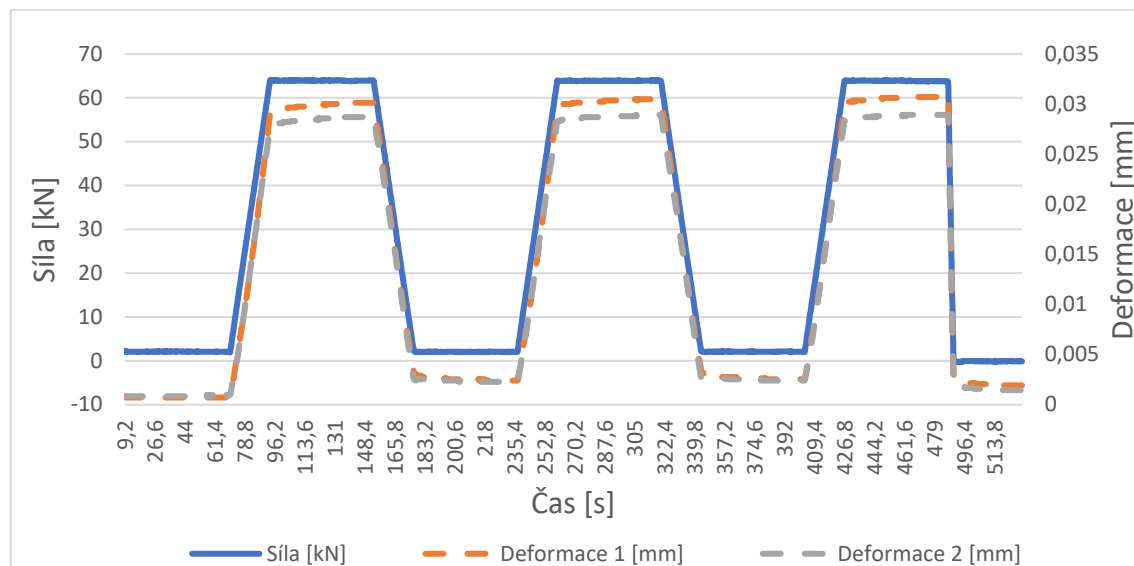
Cyklus	L0 [mm]	σ_b [MPa]	σ_a [MPa]	ϵ_{b1} [mm]	ϵ_{b2} [mm]	ϵ_b [mm]	ϵ_{a1} [mm]	ϵ_{a2} [mm]	ϵ_a [mm]	E_c [GPa]	E_c [GPa]
2	70	0,47	15,07	1,20E-05	6,86E-05	4,03E-05	3,82E-04	5,62E-04	4,72E-04	33,8	33,8
3		0,45	15,01	1,20E-05	7,03E-05	4,11E-05	3,82E-04	5,64E-04	4,73E-04	33,7	



Obr. 61: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E3

Tab. 16: Hodnoty pro zkušební těleso E4

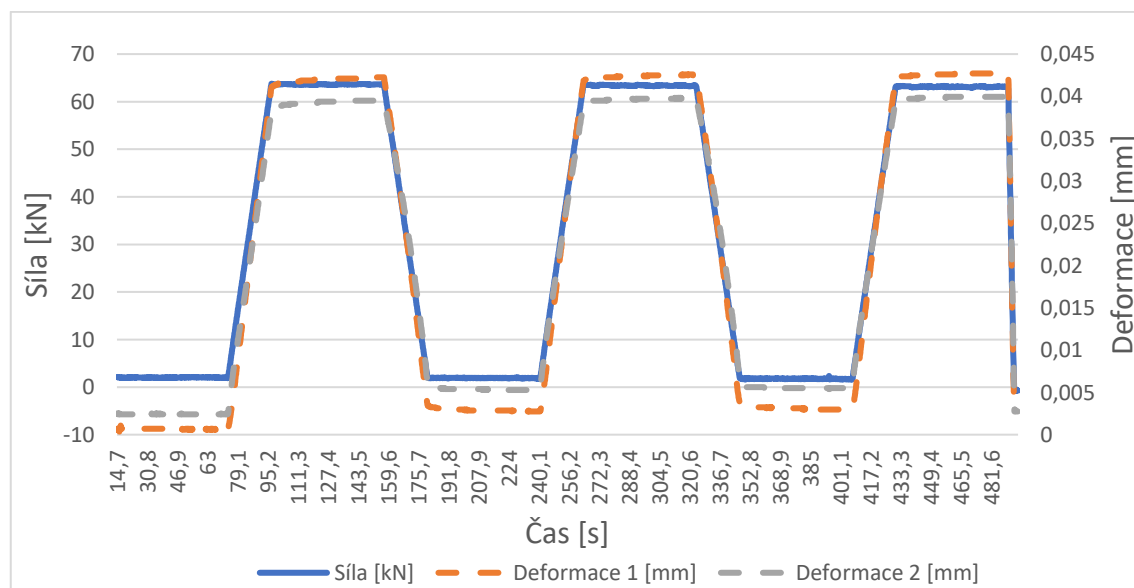
Cyklus	L0 [mm]	σ_b [MPa]	σ_a [MPa]	ϵ_{b1} [mm]	ϵ_{b2} [mm]	ϵ_b [mm]	ϵ_{a1} [mm]	ϵ_{a2} [mm]	ϵ_a [mm]	E_c [GPa]	E_c [GPa]
2	70	0,48	14,91	3,43E-05	3,26E-05	3,34E-05	4,35E-04	4,13E-04	4,24E-04	36,9	36,8
3		0,49	14,86	3,60E-05	3,43E-05	3,51E-05	4,40E-04	4,13E-04	4,26E-04	36,7	



Obr. 62: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E4

Tab. 17: Hodnoty pro zkušební těleso E6

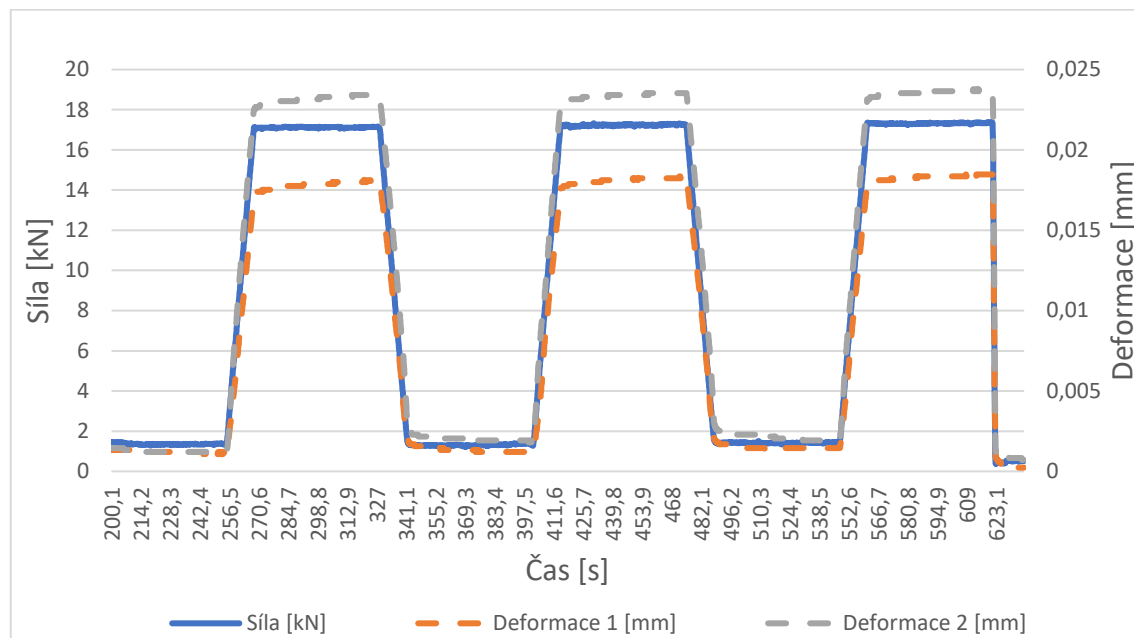
Cyklus	L0 [mm]	σ_b [MPa]	σ_a [MPa]	ϵ_{b1} [mm]	ϵ_{b2} [mm]	ϵ_b [mm]	ϵ_{a1} [mm]	ϵ_{a2} [mm]	ϵ_a [mm]	E_c [MPa]	E_c [GPa]
2	70	0,44	14,93	3,95E-05	7,55E-05	5,75E-05	6,08E-04	5,69E-04	5,89E-04	27,3	27,4
3		0,40	14,89	4,29E-05	7,89E-05	6,09E-05	6,10E-04	5,71E-04	5,91E-04	27,4	



Obr. 63: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E6

Tab. 18: Hodnoty pro zkušební těleso E7

Cyklus	L0 [mm]	σ_b [MPa]	σ_a [MPa]	ϵ_{b1} [mm]	ϵ_{b2} [mm]	ϵ_b [mm]	ϵ_{a1} [mm]	ϵ_{a2} [mm]	ϵ_a [mm]	E_c [MPa]	E_c [GPa]
2	50	0,72	9,03	2,40E-05	3,77E-05	3,08E-05	3,66E-04	4,70E-04	4,18E-04	21,5	21,5
3		0,75	9,07	2,88E-05	3,84E-05	3,36E-05	3,70E-04	4,75E-04	4,22E-04	21,4	



Obr. 64: Průběh zatěžovací síly a deformace na zkušebním tělese E7